



INSTITUT DE FORMATION DES MANIPULATEURS EN
ÉLECTRORADIOLOGIE MÉDICALE

Centre Hospitalier Universitaire de Rennes
2, rue Henri Le Guilloux 35000 Rennes

**Évaluation de la légitimité des manipulateurs en
électroradiologie médicale à intégrer l'impression 3D dans leur
pratique**

EL MOURABIT Ayoub

Travail de Fin d'Études

Formation de Manipulateur en Électroradiologie Médicale

Promotion 2021 – 2024



PRÉFET DE LA RÉGION BRETAGNE

DIRECTION RÉGIONALE
DE LA JEUNESSE, DES SPORTS
ET DE LA COHÉSION SOCIALE
Pôle formation-certification-métier

Diplôme d'Etat de Manipulateur en Électroradiologie Médicale

Travaux de fin d'études : Évaluation de la légitimité des manipulateurs en électroradiologie médicale à intégrer l'impression 3D dans leur pratique

Conformément à l'article L 122-4 du code de la propriété intellectuelle du 3 juillet 1992 :
« toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement
de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite. Il en est de même pour la
traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction par un art
ou un procédé quelconque ».

***J'atteste sur l'honneur que la rédaction des travaux de fin d'études,
réalisée en vue de l'obtention du diplôme d'Etat de Manipulateur en
Électroradiologie Médicale est uniquement la transcription de mes
réflexions et de mon travail personnel.***

***Et, si pour mon argumentation, je copie, j'emprunte un extrait, une
partie ou la totalité de pages d'un texte, je certifie avoir précisé les
sources bibliographiques.***

Le 24/04/2024

Identité et signature de l'étudiant : EL MOURABIT Ayoub

Fraudes aux examens :

CODE PENAL, TITRE IV DES ATTEINTES A LA CONFIANCE PUBLIQUE

CHAPITRE PREMIER : DES FAUX

Art. 441-1 : Constitue un faux toute altération frauduleuse de la vérité, de nature à causer un préjudice et
accomplie par quelque moyen que ce soit, dans un écrit ou tout autre support d'expression de la pensée qui a
pour objet ou qui peut avoir pour effet d'établir la preuve d'un droit ou d'un fait ayant des conséquences
juridiques.

Le faux et l'usage de faux sont punis de trois ans d'emprisonnement et de 45 000 € d'amende.

Loi du 23 décembre 1901, réprimant les fraudes dans les examens et concours publics.

Art. 1^{er} : Toute fraude commise dans les examens et les concours publics qui ont pour objet l'entrée dans une
administration publique ou l'acquisition d'un diplôme délivré par l'Etat constitue un délit.



POLE DE FORMATION DES PROFESSIONNELS DE SANTE

Plagiat dans les travaux de recherche des étudiants en santé : enquête auprès des jurys d'un centre hospitalier universitaire français.

Contexte : plusieurs travaux pointent la difficulté rencontrée par les étudiants pour discerner les contours du plagiat et la fréquence élevée de ce type de méconduite scientifique. Mais peu de données sont disponibles sur les étudiants en santé en France. **Objectif** : décrire la proportion de professionnels ayant été confrontés à une situation de plagiat sur les deux dernières années et les pratiques associées au plagiat au sein de nos instituts.

Méthode : nous avons interrogé l'ensemble des professionnels participant aux jurys de mémoire de fin d'étude en 2019 sur au moins un des six instituts de formation d'un CHU français (n = 152), *via* un auto-questionnaire informatisé.

Résultats : un quart des participants (15 sur 62) ont rapporté au moins une situation de plagiat avérée sur les deux dernières années. L'ensemble des parties du mémoire a été rapporté comme plagié. Les sanctions rapportées allaient de l'absence de sanction à l'exclusion définitive. Les méthodes de repérage portaient principalement sur la recherche de rupture de style (85 %).

Conclusion : les instituts de formation doivent mettre en place des mesures de prévention efficaces, et accompagner les jurys en posant des stratégies d'établissement claires pour la détection, l'orientation et la prise de sanction dans le cadre du plagiat.

Figure 1 Démarche d'aide à la décision pour le jury mémoire suite à la détection d'un plagiat

Quantité/répartition	Echelle d'intentionnalité		
	Référencement ambigu ou citation partielle des sources	Copie intégrale non sourcée	Stratégie délibérée/Tentative de dissimulation. Reprise littérale du texte de l'auteur avec quelques mots changés + non sourcés
Moins d'une page en continu	1	3	4
Plus d'une page en discontinu	2	3	4
Plus d'une page en continu	3	4	4

Légende: 1 = impact sur la note; 2 = impact sur la note + notification dans l'appréciation; 3 = impact sur la note + notification dans l'appréciation + exploration du degré d'intentionnalité auprès de l'étudiant lors de la soutenance ; 4 = impact sur la note + notification dans l'appréciation + exploration du degré d'intentionnalité auprès de l'étudiant lors de la soutenance + conseil de discipline ou section compétente pour le traitement des situations disciplinaires.

Mancheron P, Chaudron A, Le Corvic M, Leblanc JY, Boissart M, Beranger R, Dauce P. Plagiat dans les travaux de recherche des étudiants en santé : enquête auprès des jurys d'un centre hospitalier universitaire français. Rech Soins Infirm. 2022;150(3):42-52. French. PMID: 36609463. Pôle de Formation des Professionnels de Santé - CHU Rennes - <http://www.ifchurennes.fr> - 2 Rue Henri le Guilloux, 35033 Rennes Cedex 9

Remerciements

Je commence par exprimer un grand merci envers mon guidant de mémoire Arnaud Fily, qui a pu m'épauler et me conseiller tout au long de ce mémoire d'initiation à la recherche et qui a su répondre présent à mes questions dès que j'en avais besoin.

Un immense merci à toute l'équipe pédagogique de l'IFMEM pour ces trois années passées auprès de vous qui ont été enrichissantes. Aux formateurs qui ont su me transmettre l'amour qu'ils avaient pour le métier de manipulateur.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance à l'ensemble des professionnels ayant contribué à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, comment terminer ces remerciements sans évoquer le Dr. Dominique Lagadic-Gossmann, Directrice de Recherche CNRS, qui m'a suivi tout au long de ma formation, qui a su répondre présente dans toutes les situations, ce qui m'a permis aujourd'hui d'en arriver là. Merci pour tous ces moments de révisions, d'échanges, de corrections et son soutien tout au long de la mise en forme de ce mémoire. Un grand merci à elle pour tout le temps qu'elle a consacré à ma formation et à l'accomplissement de ce mémoire.

« La compétence est la mobilisation ou l'activation de plusieurs savoirs, dans une situation et un contexte donnés »

Guy le Boterf, expert de la gestion et du développement des compétences et des parcours de professionnalisation.

Glossaire

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

TDM : Tomodensitométrie

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

FDM : Fused deposition modeling ou Dépôt de fil fondu

SLA/STL : Stéréolithographie

PLA : acide polylactique

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène

PET : Polytéraphthalate d'éthylène

DICOM : Digital Imaging And Communications In Medicine

DU : Diplôme Universitaire

PACS : Picture Archiving and Communication System

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

3D : Trois Dimensions

I. Introduction.....	1
II. De la situation d'appel vers la question de départ.....	3
2.1. Situation d'appel.....	3
2.2. Mes questionnements.....	4
III. Cadre conceptuel.....	5
3.1. Impression 3D.....	5
3.1.1. Qu'est-ce que l'impression 3D ?.....	5
3.1.2. Qu'est-ce qu'un modèle anatomique patient-spécifique ?.....	6
3.1.3. Historique.....	6
3.1.4. Les applications médicales de l'impression 3D.....	8
3.1.5. De l'imagerie médicale à l'impression 3D : comment cela fonctionne-t-il ?.....	10
3.1.6. Les techniques d'impression 3D.....	11
3.1.6.1. Le Dépôt de fil fondu.....	11
3.1.6.2. La Stéréolithographie.....	13
3.1.6.3. Le Polyjet.....	14
3.1.7. Les matériaux utilisés.....	16
3.1.8. La segmentation.....	18
3.2. Légitimité et compétences : fondements et perspectives.....	19
3.2.1. Les manipulateurs en électroradiologie médicale.....	19
3.2.2. La légitimité.....	20
3.2.3. Qu'est-ce qu'une compétence ?.....	21
3.2.4. Le décret de compétences des manipulateurs en électroradiologie médicale.....	23
3.3. Etude de cas du Centre Hospitalier Universitaire de Brest.....	26
IV. Méthodologie.....	28
4.1. Introduction.....	28
4.2. Méthodologie de recherche.....	29
4.2.1. Le choix des outils de recherche.....	29
4.2.2. Échantillonnages.....	29
4.3. Collecte des données.....	30
4.3.1. Questionnaire pour les manipulateurs en électroradiologie médicale.....	30
4.3.2. Entretien avec l'ingénieure.....	32
4.3.3. Entretien avec le médecin.....	34
V. Résultats.....	36
5.1. Résultats des questionnaires.....	36
5.2. Résultats de l'entretien avec l'ingénieure.....	45
5.3 Résultats de l'entretien avec le médecin.....	56
VI. Discussion.....	65
VII. Conclusion.....	73
VIII. Bibliographie.....	75
IX. Annexe.....	82
9.1. Décret de compétences des manipulateurs en électroradiologie.....	82
9.2. Le questionnaire diffusé.....	83
9.3. Le guide d'entretien ingénieure.....	88
9.4. Le guide d'entretien médecin.....	91

9.5. Arborescence des thématiques de l'entretien avec l'ingénieure.....	93
9.5.1. Les compétences des manipulateurs.....	94
9.5.2. Les compétences attendues pour les manipulateurs.....	95
9.5.3. Les missions de l'ingénieure biomédicale.....	96
9.5.4. Les différentes formations.....	97
9.5.5. Pourquoi ne pas avoir pris les manipulateurs présents en interne ?.....	98
9.5.6. Le lien entre l'ingénieure et les manipulateurs.....	99
9.5.7. La mise en place de cette plateforme.....	100
9.5.8. La légitimité.....	101
9.6. Arborescence des thématiques de l'entretien avec le médecin.....	102
9.6.1. La simulation.....	102
9.6.2. L'impression 3D et la segmentation.....	103
9.6.3. La place des manipulateurs dans le processus d'impression 3D.....	104
9.6.4. L'évolution des fonctions des manipulateurs.....	105
9.6.5. Retour sur le cas concret du CHU de Brest.....	106
9.6.6. La légitimité.....	106
9.6.7. La formation.....	107
9.7. Retranscription de l'entretien avec l'ingénieure.....	108
9.8. Retranscription de l'entretien avec le médecin.....	122
X. Abstract.....	141

I. Introduction

L'impression 3D, est une technologie qui a vu le jour au début des années 1980. Elle désigne un ensemble de procédés destinés à produire des objets en ajoutant des couches de matériaux correspondant aux coupes successives d'un modèle 3D (*Impression 3D | Logiciel Imprimante 3D | AutoDesk, s. d.-a*).

Elle est utilisée aujourd'hui dans plusieurs domaines. C'est dans le domaine médical qu'elle a connu une des avancées les plus marquantes, et ce, grâce à l'imagerie médicale.

Cette technologie offre une nouvelle approche de la médecine, tant pour les patients dans leurs prises en soins que pour les professionnels médicaux, et ce, en permettant aux premiers d'accéder à des soins personnalisés et aux seconds, d'acquérir de nouvelles pratiques.

L'impression 3D débute à partir de l'imagerie médicale ; au centre de ce domaine, on y retrouve le manipulateur en électroradiologie médicale, qui est le professionnel médical au cœur de celle-ci. Il joue donc un rôle crucial dans la potentielle intégration de l'impression 3D dans sa pratique ; cependant, ce rôle n'est à l'heure actuelle que très peu mis en œuvre. En effet, à ce jour, il existe dix-neuf plateformes possédant ce type de technologie en France ; cependant, elles sont toutes sous la supervision de médecins ou d'ingénieurs biomédicaux. Excepté une, au Centre Hospitalier Universitaire de Brest, coordonnée par un manipulateur.

C'est pourquoi, je vais, dans ce mémoire, étudier le rôle d'une ingénieure biomédicale travaillant avec technologie, dans le but de comprendre ses missions et ainsi voir si les manipulateurs peuvent être intégrés ou non au sein de ce type de plateforme. Je souhaite également analyser s'il y a des similitudes quant aux compétences de l'ingénieure et celles des manipulateurs.

La question à laquelle je vais tenter de répondre dans ce mémoire est donc la suivante : **en quoi le manipulateur en électroradiologie médicale est-il légitime à intégrer les plateformes d'impression 3D ?**

Cette technologie permet de créer des objets complexes couche par couche à partir de modèles numériques. Ici, les modèles numériques utilisés en impression 3D, proviennent de l'acquisition d'images Scanner, IRM ou encore Angiographiques utilisées pour l'étude vasculaire intracrânienne ; les manipulateurs en électroradiologie médicale semblent donc les plus à même à intégrer les plateformes d'impression 3D en France.

Néanmoins, l'intégration de l'impression 3D dans les pratiques des manipulateurs en électroradiologie médicale amène à se poser plusieurs questions. La plus fondamentale est celle de la légitimité : les manipulateurs, sont-ils légitimes pour adopter cette technologie dans leurs pratiques ? Ou encore est-ce que ces professionnels possèdent les compétences nécessaires pour intégrer une plateforme d'impression 3D ?

Ce mémoire a donc pour appétence d'analyser les différents points de cette légitimité. À travers une analyse approfondie de ce qu'est l'impression 3D, l'analyse du décret de compétences des manipulateurs, d'une étude de cas, d'une enquête sur le terrain, je chercherai à évaluer la position des manipulateurs en électroradiologie médicale face à leur intégration possible dans les plateformes d'impression 3D.

Ainsi, l'objectif premier de ce mémoire est de fournir une compréhension claire de la légitimité quant à leur intégration dans les plateformes d'impression 3D et d'examiner ce qui explique ou non cette légitimité à intégrer cette technologie dans leurs pratiques.

II. De la situation d'appel vers la question de départ

2.1. Situation d'appel

Mon intérêt pour ce sujet de mémoire est arrivé en cours, en deuxième année, lors d'une présentation d'un manipulateur en électroradiologie : Samuel Guigo, qui exerce au CHU de Brest.

Ce cours portait sur l'utilisation de l'impression 3D en imagerie médicale par un manipulateur. À cette occasion, il nous a montré ses réalisations grâce à l'impression 3D de modèles anatomiques patient-spécifiques, en particulier dans un contexte de simulation préopératoire des anévrismes intracrâniens ; cette technologie permettant aux médecins radiologues interventionnels de se préparer au mieux avant une procédure d'embolisation d'anévrisme complexe.

Ce cours m'a particulièrement interrogé et m'a amené à me poser plusieurs questions en lien avec cette utilisation, d'où plusieurs recherches que j'ai faites. Il m'est alors clairement apparu que l'impression 3D a toute sa place dans le milieu médical. Au vu de cet exemple du CHU de Brest, l'introduction de l'impression 3D étant présente dans le métier de manipulateur en électroradiologie, je me suis alors demandé quelles étaient les nouvelles missions de celui-ci face à l'impression 3D, sachant que c'est un point qu'on ne voit pas concrètement lors de notre formation de manipulateur.

De plus, les nouvelles technologies m'ont toujours passionné et pouvoir faire le lien entre celles-ci et ma future profession m'est apparu comme étant un plus pour moi, et ce, d'autant plus que l'impression 3D est en perpétuelle évolution dans le milieu médical.

Lorsque j'ai parlé de mon intérêt pour ce sujet de mémoire auprès de mes formateurs, ils m'ont répondu que c'était un sujet qui n'avait jamais été abordé auparavant et pouvoir être le premier à en parler a alors été un déclic pour moi.

2.2. Mes questionnements

Lors de mes premières recherches, plusieurs questions me sont venues en tête. En effet, l'impression 3D est une technologie que je connais seulement de nom et que je n'avais jamais, jusqu'ici, approfondie lors de mes recherches. C'est suite à cette présentation sur l'impression 3D que j'ai fait le lien entre cette technologie et mon futur métier. Les premières questions que je me suis posé ont été : qu'est-ce que réellement l'impression 3D ? Comment est-elle utilisée dans le milieu hospitalier ? Et en tant que manipulateur en électroradiologie médicale, comment peut-elle être intégrée à nos pratiques ?

III. Cadre conceptuel

3.1. Impression 3D

3.1.1. Qu'est-ce que l'impression 3D ?

D'après Autodesk, « *l'impression 3D, ou fabrication additive, désigne un ensemble de procédés destinés à produire des objets en ajoutant des couches de matériaux correspondant aux coupes successives d'un modèle 3D. Cette méthode de fabrication 3D permet de construire des pièces en relief depuis un fichier. L'objet numérique devient alors un objet physique* » (*Impression 3D | Logiciel Imprimante 3D | AutoDesk*, s. d.-b). On part d'abord de données d'imageries médicales. Ces données d'imagerie sont ensuite transformées au format STL, ce format étant utilisé pour l'impression et la Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Le nom STL est un acronyme qui signifie « stéréolithographie », une technologie courante d'impression 3D (Carmel, 2022b).

Elle s'est petit à petit développée dans les années 1980. Les applications de l'impression 3D sont assez vastes. En effet, on la retrouve dans différents domaines tels que dans l'architecture, l'industrie, l'aéronautique, la construction, l'armée, la bio impression et plein d'autres domaines encore. Je vais, dans ce mémoire, m'intéresser à son réel impact dans le domaine médical.

3.1.2. Qu'est-ce qu'un modèle anatomique patient-spécifique ?

D'après Bone 3D, « *un modèle anatomique est une représentation réaliste d'une région spécifique du corps issue de données d'imagerie 3D comme l'imagerie Scanner et/ou IRM. Ces modèles permettent d'être au plus proche de l'anatomie du patient, fournir un modèle personnalisé et donc d'avoir une visualisation précise des structures anatomiques spécifiques à un patient* » (Modèles Anatomiques 3D, Corps Humain | BONE 3D, s. d.).

3.1.3. Historique

Avant toute chose, un peu d'histoire sur l'impression 3D semble important à évoquer. Fabulous, entreprise spécialisée dans les technologies industrielles d'impression 3D, nous présente une chronologie sur l'essor de ce procédé.

En effet, « *elle a connu le jour le 16 juillet 1984 ; c'est à ce jour que le premier brevet sur la fabrication additive est déposé par trois Français : Jean-Claude André, Olivier de Witte et Alain le Méhauté.*

La même année, aux Etats-Unis, le 1er août 1984, c'est l'Américain Chuck Hull qui dépose le brevet sur la technique d'impression 3D de stéréolithographie. Ce brevet donnera non seulement le nom de l'extension du fichier d'impression « .stl », mais donnera aussi naissance à une entreprise leader : 3D Systems, géant de la fabrication d'imprimantes 3D. 3D Systems lancera fin 1988 la première imprimante 3D, la SLA-250.

En 1987, le procédé de frittage laser sélectif (ou SLS pour Sintering Laser System) est inventé par l'entreprise DTM corp. Ce nouveau procédé de fabrication additive consiste en la fabrication couche par couche de poudres polymères par frittage laser.

En 1988, une autre entreprise américaine, la société Stratasys, lance sur le marché une nouvelle technologie reposant elle aussi sur le dépôt couche par couche en fabrication additive : le procédé FDM pour Fused Deposition Modeling ou dépôt de fil fondu en français.

En 1995, c'est la technologie d'impression 3D métallique ou DMLS (Direct Metal Laser Sintering) qui fait son apparition. La technologie est similaire à celle du frittage laser sélectif mais adapté aux métaux, avec un laser encore plus puissant.

En 2005, la société ZCorporation lance la première imprimante 3D couleur, fonctionnant sur le même principe que les imprimantes 2D couleurs.

Aujourd'hui, cette technologie se retrouve dans des domaines divers ; en effet, on la retrouve dans l'industrie, l'aéronautique, l'automobile, la construction, l'armée, le cinéma, la bio impression ou encore l'alimentation.

En 2015, la société Carbon3D annonce une nouvelle technologie révolutionnaire permettant de multiplier par 7 la rapidité en impression 3D. Baptisée CLIP, la technologie sur l'utilisation de résine, lumière et d'oxygène pour polymériser l'objet. Ce principe constitue une avancée importante dans le monde de la fabrication additive. Les premières imprimantes 3D sont attendues sur le marché en 2016. Début 2015 c'est aussi Hewlett Packard (HP) qui annonce se positionner sur le marché des imprimantes 3D professionnelles avec une technologie brevetée appelée Multi jet Fusion. Le géant de l'impression souhaite entrer sur le marché avec un procédé mixant les technologies d'impression multicolore et de frittage, ce qui constituerait une révolution dans le secteur. La commercialisation aura aussi lieu courant de l'année 2016, année qui s'annonce charnière dans l'histoire encore courte mais en mouvement perpétuel de l'impression en 3D » (Impression 3D - Son Histoire, 2017b).

En somme, l'impression 3D a évolué de manière assez rapide et ne cesse de proposer de nouvelles solutions dans différents domaines.

Cependant, qu'en est-il du secteur médical ?

3.1.4. Les applications médicales de l'impression 3D

Je vais, dans cette partie, décrire les différentes applications de cette technologie dans le milieu médical. Pour ce faire, je vais m'appuyer sur mes recherches afin de voir ce qui se fait en termes d'impression 3D au sein des centres hospitaliers.

Voici un état de l'art de l'impression 3D dans le domaine médical (Philippine, 2024) :

Dans le milieu médical, l'impression 3D est utilisée dans différentes spécialités. On la retrouve dans de multiples secteurs tels qu'en dentaire, en orthopédie, en ophtalmologie, en traumatologie, en chirurgie ou encore en radiologie interventionnelle lors des embolisations des anévrismes.

Concernant ce dernier aspect, au CHU de Rennes, une étude a été réalisée dans le but de voir l'intérêt de cette technologie dans la fabrication de modèles anatomiques imprimés en 3D pour la simulation dans les embolisations d'anévrismes intracrâniens complexes. Ici, l'étude a montré que l'entraînement avant une intervention permettait « *une réduction de la durée de la procédure et donc une exposition aux radiations plus faible pour le patient* » (Bras et al., 2023). Mais également dans le traitement des anévrismes intracrâniens par voie chirurgicale et endovasculaire (Wang, S., 2023) (Marciuc, E. A., 2021).

Elle a également sa place dans la fabrication d'appareils auditifs. En effet, en 2013, plus de 10 milliards de personnes dans le monde ont pu bénéficier d'appareils auditifs issus de l'impression 3D (Dodziuk H., 2016).

Elle apporte également son aide dans la dentisterie, elle assure une production rapide et avec précision des couronnes, des ponts, des modèles en plâtres/pierres et tout type d'appareils orthodontiques (Dodziuk H., 2016).

Elle a aussi une implication dans l'impression de prothèses. De ce fait, on imprime des prothèses pour les mains personnalisées en super-héros pour les enfants, mais

aussi des jambes voire même oculaires. Un patient a ainsi pu recevoir une prothèse partiellement imprimée en 3D à la suite de son cancer du visage (Dodziuk H., 2016).

Elle est, au même titre, utilisée dans les implants, dont voici quelques exemples : la retrouve dans la reconstruction d'une trachée (Chang *et al.*, 2014) ; implantation chez un homme de 75 % de son crâne à l'aide d'un implant imprimé en 3D (Ferro, 2013).

Une mâchoire inférieure a également été créée par impression 3D et ensuite installée sur une patiente de 83 ans (BBC News, 2012).

En chirurgie, l'impression 3D est utilisée pour fabriquer des modèles anatomiques patients-spécifiques en pré-opération. En effet, ces modèles permettent aux médecins de mieux visualiser la partie à opérer, mais aussi à préparer les interventions en s'entraînant grâce à ces modèles. L'impression 3D est largement utilisée lors des planifications d'interventions chirurgicales. Elle a pu assister des interventions chirurgicales telles que la première greffe de rein d'un adulte à un enfant (*World First 3D Printing Used In Life-changing Kidney Transplant*, 2024), dans l'ablation d'une tumeur de rein chez une femme (Hipolite & Hipolite, 2021), pour une chirurgie permettant la séparation de jumeaux siamois (Pearson, 2016) (*CT And 3-D Printing Aid Surgical Separation Of Conjoined Twins*, 2015) ou encore pour un patient nécessitant une chirurgie reconstructive acétabulaire (Duncan *et al.*, 2015). L'impression 3D trouve également sa place au sein des formations dans le médicales ; en effet, une entreprise japonaise (Fasotec) imprime des modèles réalistes dans la formation chirurgicale (O'Neal & O'Neal, 2021). Non seulement cette technologie semble utile pour le personnel médical, mais aussi pour les patients, leur permettant ainsi une meilleure compréhension de leur pathologie et de leur prise en soin.

Elle sert aussi dans la création de dispositifs médicaux tels que des stéthoscopes (Goehrke & Goehrke, 2021).

On la retrouve aussi dans la bio-impression ainsi que dans l'impression de médicaments.

Lors de mon entretien exploratoire, j'ai pu échanger avec un manipulateur qui est coordinateur d'une plateforme d'impression 3D. Il a pu me renseigner sur les

différents dispositifs qu'ils imprimaient au sein du CHU. On y retrouve, la conception de pièces mécaniques, des aides techniques pour les personnes atteintes de handicap, des outils pour expliquer la prise en soin aux patients, dans le cadre de la formation pour les médecins, les internes et l'équipe paramédicale dans le but d'améliorer celle-ci, mais aussi des modèles anatomiques que ce soit de l'os, du vasculaire, en oncologie, en médecine nucléaire, en pédiatrie ou encore pour visualiser les coronaires.

Comme on a pu le voir, il est clair que l'impression 3D propose de nombreuses applications médicales : de la planification chirurgicale à la production de dispositifs médicaux sur mesure, la création de modèles anatomiques spécifiques pour les patients, l'impression d'implants, la formation et la recherche.

L'impression 3D a donc une place marquante dans le milieu médical.

3.1.5. De l'imagerie médicale à l'impression 3D : comment cela fonctionne-t-il ?

L'impression 3D est réalisée à partir de l'imagerie médicale Tomodensitométrie (TDM) et/ou IRM acquise sur le patient, en effet ; l'imagerie TDM et/ou d'IRM, permet d'obtenir une imagerie détaillée des parties anatomiques du patient. Elle permet de reproduire la taille exacte et spécifique au patient, et donc d'imprimer un modèle anatomique personnalisé.

Ensuite, les images obtenues sont segmentées vers un fichier numérique.

Vient par la suite, la phase de post-traitement, à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) ; ce fichier numérique est travaillé afin de le transformer en format STL (stéréolithographie) (Carmel. 2022, 31 mars). Suite à cela, une fois le modèle terminé, vient enfin la phase d'impression 3D avec derrière un deuxième post-traitement ; celui-ci permet de faire un contrôle qualité du modèle imprimé.

3.1.6. Les techniques d'impression 3D

L'impression 3D est une technologie plutôt diversifiée, car il y a de multiples méthodes d'impression. On y retrouve le Dépôt de fil fondu (FDM), la Stéréolithographie (SLA) et l'impression 3D Polyjet. Il en existe plusieurs autres, mais celles-ci sont les plus courantes. Ainsi, la méthode d'impression varie en fonction du résultat souhaité et de ce que l'on souhaite imprimer (Aniwaa, 2021a) (Stratasys). Le choix de la technique varie aussi en fonction de l'utilisation envisagée et des matériaux.

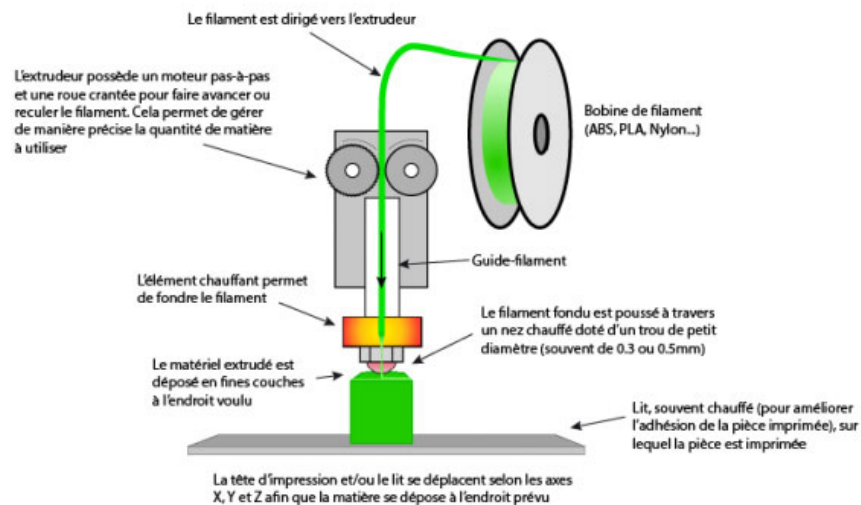
Dans les prochaines lignes, nous allons donc détailler chacune de ces techniques, ainsi que les avantages et les inconvénients de celles-ci et enfin les matériaux employés.

3.1.6.1. Le Dépôt de fil fondu

D'après Aniwaa, « la technologie d'impression 3D par dépôt de fil fondu, aussi appelée extrusion, utilise du filament plastique comme consommable. Il s'agit de la technique d'impression 3D la plus répandue (cf. schéma ci-dessous).

Le filament est chauffé et fondu dans la tête d'impression de l'imprimante 3D puis ressort à travers une fine buse. L'extrudeur se déplace horizontalement selon deux axes (les axes X et Y) en même temps que la plateforme d'impression se déplace sur un axe vertical Z.

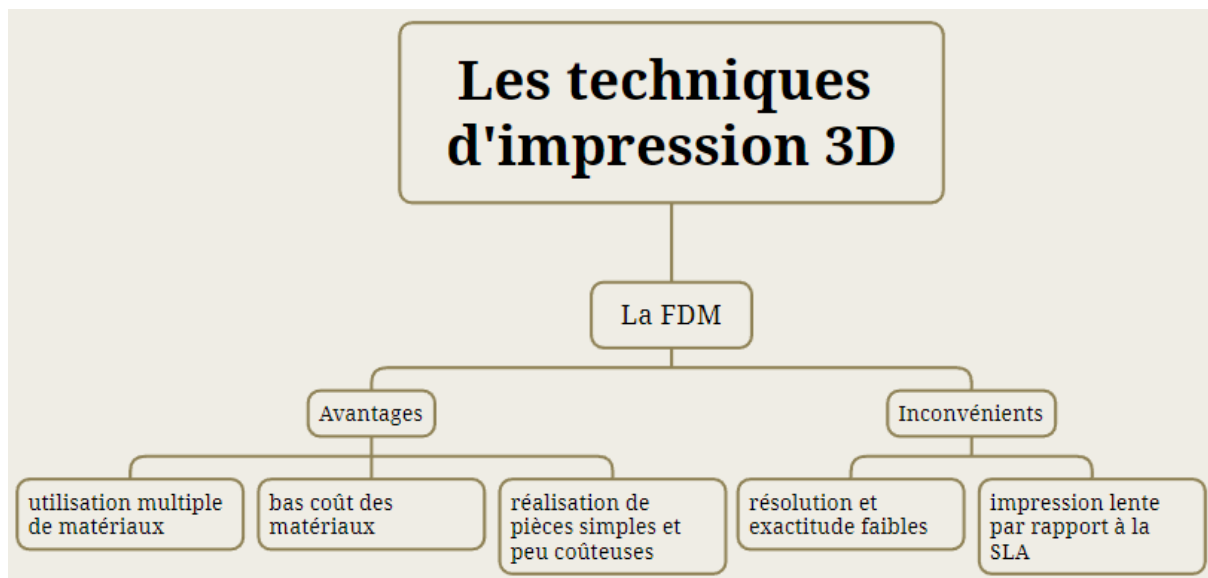
L'imprimante 3D dépose le filament fondu par couches successives, les unes sur les autres, pour former l'objet en 3D. Lorsqu'une couche est complète, le plateau d'impression s'abaisse légèrement sur l'axe Z (vertical) et le processus d'extrusion reprend en déposant une nouvelle couche de filament fondu au-dessus de la première. Les couches ainsi créées sont fusionnées entre elles par le plastique qui se solidifie rapidement. L'empilement des couches de matière forme l'objet final » (Aniwaa 2021).



@www.lesnumériques.com

MakerShop (2018), *Fonctionnement d'une imprimante FDM*. Tiré de : <https://www.makershop.fr/blog/difference-fdm-depot-filament-sla-stereolithographie-quelle-technologie-pour-quelle-application-2/>

D'après, Formlabs, les avantages et les inconvénients de la FDM sont les suivants :



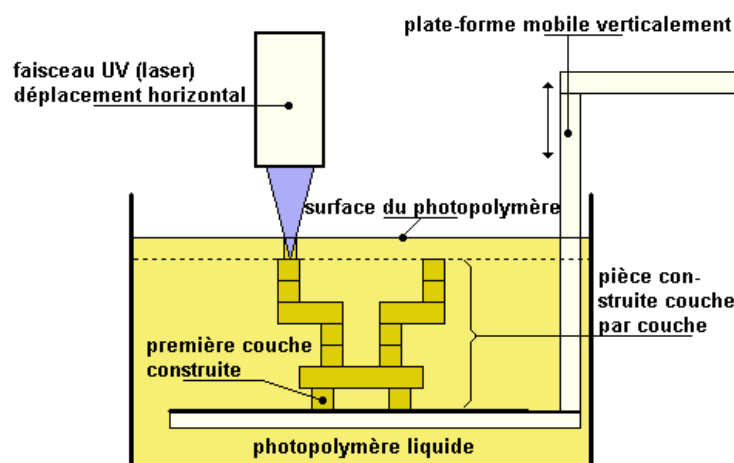
©A. El Mourabit

3.1.6.2. La Stéréolithographie

Ensuite, nous avons le procédé d'impression 3D par stéréolithographie, connu sous le nom de SLA (cf. schéma ci-dessous). D'après Aniwaa, « *il s'agit d'un processus de fabrication additive utilisé dans les imprimantes 3D SLA à résine.*

Un faisceau de rayons UV est projeté par un laser pour polymériser (c'est-à-dire solidifier) une résine photosensible contenue dans un bac de l'imprimante 3D et ainsi former un objet solide, couche par couche.

Dans une imprimante 3D SLA, un réservoir contient le matériau consommable, à savoir la résine photosensible qui réagit à certains types de rayons lumineux. Le laser « dessine » l'objet 3D à imprimer dans le bac à résine, solidifiant ainsi la résine point par point puis couche par couche, en suivant le modèle du fichier 3D d'origine. L'impression 3D SLA permet d'obtenir des résultats d'une grande finesse à la texture lisse » (Aniwaa 2021).

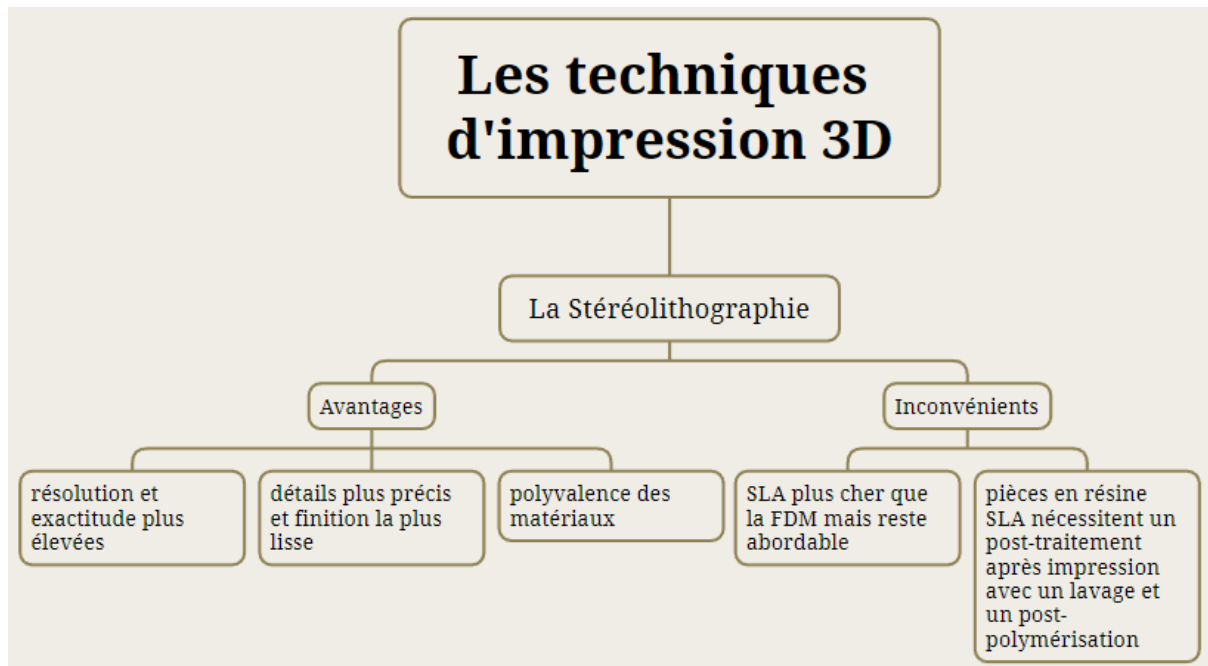


Proform Rapid Prototyping. Fonctionnement d'une installation de stéréolithographie.

(Stéréolithographie Impression 3D, s. d.). Tiré de :

<https://www.proform.ch/fr/procedes/impression-3d/stereolithographie>

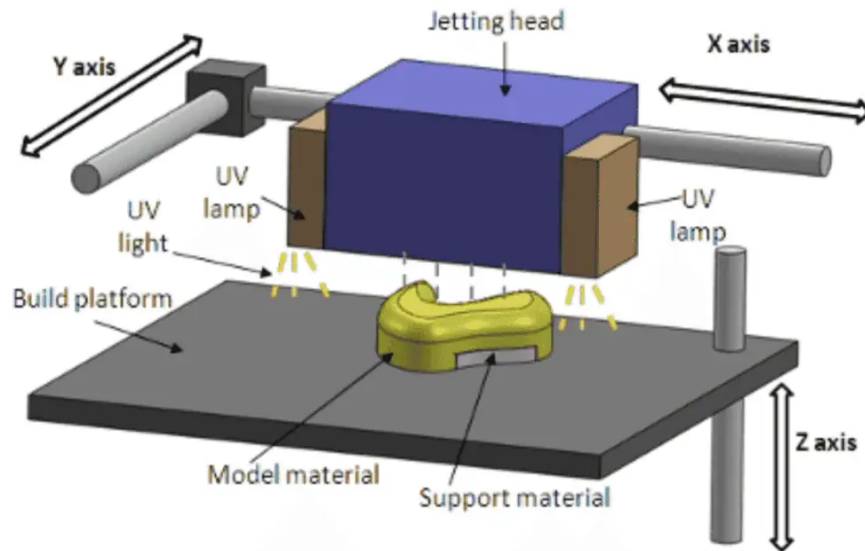
D'après Formlabs, les avantages et les inconvénients de la SLA sont les suivants :



©A. El Mourabit

3.1.6.3. Le Polyjet

Enfin, nous avons l'impression 3D Polyjet (cf. schéma ci-dessous). D'après Stratasys, « *c'est une technologie avancée qui crée rapidement des pièces précises à l'aide de photopolymères, de lumière UV et de tête à jet d'encre. Elle atteint une grande précision en superposant des résines pour former des matériaux numériques. Le processus commence par un modèle CAO Conception Assistée par Ordinateur transformé en format imprimable. Des gouttes de photopolymère sont injectées sur le plateau de fabrication, puis durcies avec des lampes UV pour lier les couches. Puis, les matériaux de support sont dissous dans une solution aqueuse ou retirés manuellement du modèle PolyJet fini* » (Technologie D'impression 3D PolyJet | Stratasys, s. d.).



(Polyjet : Aperçu D'une Technologie D'impression 3D | Xometry Pro, 2023).

Procédé d'impression 3D Polyjet. Tiré de :

<https://xometry.pro/fr/articles/impression-3d-polyjet-technologie/>

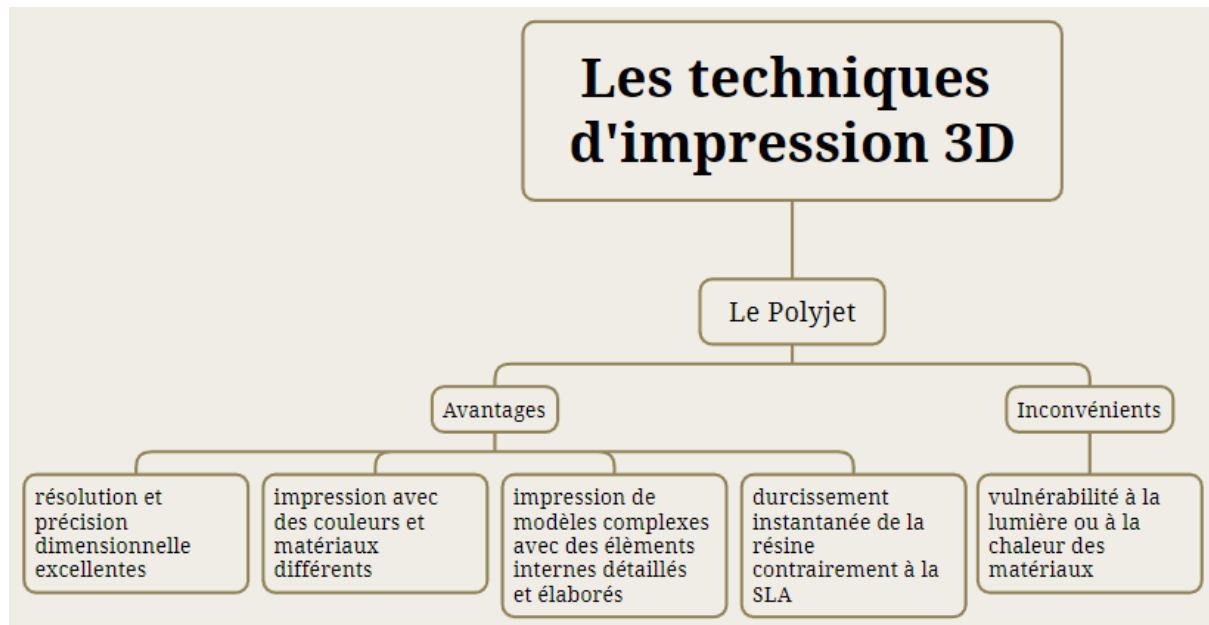
Qu'est-ce qu'un polymère ?

Un polymère est une macromolécule, formée d'unités monomères liés entre elles par des liaisons covalentes. L'image généralement donnée pour illustrer cette réalité chimique est celle du collier de perles : les perles représentent les monomères et une fois assemblées forment le collier, le polymère (Dolatkhani, 2022b).

Qu'est-ce qu'un photopolymère ?

Un photopolymère est un polymère qui a la particularité de subir une transformation moléculaire sous l'action de la lumière (Contributeurs aux projets Wikimedia, 2024b).

D'après Denimal, les principaux avantages et inconvénients de celle-ci sont :



©A. El Mourabit

Les différents matériaux utilisés pour l'impression 3D sont abordés dans la partie suivante.

3.1.7. Les matériaux utilisés

L'impression 3D utilise une variété de matériaux ; en effet, comme vu précédemment, il existe différentes techniques d'impression 3D. En fonction de la technique utilisée, les matériaux utilisés ne sont donc pas les mêmes. Il existe quatre grandes catégories de matériaux : les plastiques, les métaux, les céramiques et les matières organiques. Nous détaillerons seulement la catégorie des plastiques étant donné que c'est le matériel le plus utilisé dans les techniques d'impression développées ci-dessus (Jacquet, 2014b).

D'après Jacquet (2014b), on retrouve tout d'abord : « *le PLA (acide polylactique), très répandu dans la technique d'impression FDM. Il est issu de matières comme l'amidon de maïs, ce qui lui donne l'avantage d'être biodégradable et utilisable dans la confection d'objets en contact avec de la nourriture, comme des bols ou des assiettes. En revanche, il est sensible à l'eau et à la chaleur. Le contact répété avec l'un ou l'autre risque de provoquer des dégradations.*

Le PLA fond à une température comprise entre 160 et 220 °C et ne nécessite pas de plateau chauffant pour être imprimé. S'il répond bien à des post-traitements comme la peinture, il n'est pas aisé de le rendre parfaitement lisse. Le ponçage ne donne pas entière satisfaction puisque le frottement fait fondre le matériau.

Puis l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène), également utilisé pour le FDM. Il offre des propriétés plus intéressantes que le PLA en termes de résistance à l'eau et à la chaleur. De plus, son rendu est plus lisse que ce qu'offre le PLA. Il demande donc généralement moins de traitement à la sortie de la machine.

L'ABS demande une température de 200 à 250 °C pour fondre. Il lui faut aussi un plateau chauffant pour éviter qu'il ne se rétracte en refroidissant. Il existe en plusieurs couleurs et peut se trouver sous forme de bobines de filament ou sous forme de polymère liquide pour le procédé SLA.

Ensuite, nous avons, le PET (polytéréphtalate d'éthylène), obtenu à partir du pétrole, il est plus solide que l'ABS et s'affranchit du plateau chauffant. Il est utilisé pour les pièces qui demandent à la fois de la robustesse et de la flexibilité. On le trouve notamment dans les bouteilles en plastique. À l'instar du PLA et de l'ABS, on trouve le PET en bobine. La température nécessaire à son impression est de l'ordre de 220 °C.

Enfin, les résines, utilisées dans les procédés SLA et PolyJet ; ces résines offrent différentes propriétés physiques propres à chaque type de résine. Elles permettent des impressions très détaillées et solides, sur des formes complexes. Son rendu très lisse demande un post-traitement assez simple » (Jacquet, 2014b).

3.1.8. La segmentation

D'après Talbi, « la segmentation d'image est une opération de traitements d'images consistant à détecter et rassembler les pixels suivant des critères, notamment d'intensité ou spatiaux, l'image apparaissant ainsi formée de régions uniformes. La segmentation peut par exemple montrer les objets en les distinguant du fond avec netteté. Dans les cas où les critères divisent les pixels en deux ensembles, le traitement est une binarisation.

Des algorithmes sont écrits comme substitut aux connaissances de haut niveau que l'homme mobilise dans son identification des objets et structures. Des algorithmes de segmentation de haut niveau (chaque région est un objet sémantique) sont en développement en divers domaines concernés par le traitement d'images.

La segmentation est une étape primordiale en traitement d'image. Les nombreuses méthodes de segmentation se répartissent en quatre principales classes :

- La segmentation fondée sur les régions. On y trouve par exemple : La croissance de région, décomposition/fusion.
- La segmentation fondée sur les contours.
- La segmentation fondée sur la classification ou le seuillage des pixels en fonction de leur intensité.
- La segmentation fondée sur la coopération entre les trois premières segmentations.

L'un des domaines qui utilisent le plus la segmentation d'images est l'imagerie médicale, où elle permet de découper les images en zones pour compter des cellules, détecter des changements ou des anomalies » (Talbi, 2022b) (Contributeurs aux projets Wikimedia, 2024a).

Suite à cette présentation de l'impression 3D, il me paraît utile maintenant d'aborder les notions de légitimité et de compétences.

3.2. Légitimité et compétences : fondements et perspectives

Je vais aborder ici les notions essentielles de mon mémoire qui sont la légitimité et les compétences et qui vont me servir pour répondre à ma question de recherche.

3.2.1. Les manipulateurs en électroradiologie médicale

Le manipulateur en électroradiologie médicale est un professionnel de santé, qui réalise tous les actes d'imagerie médicale, toujours sous la responsabilité d'un médecin. Ils assurent des activités techniques et de soin en radiographies, en scanner, en IRM, en échographies, en médecine nucléaire, en explorations fonctionnelles et en radiothérapie qui contribuent à la prévention, au dépistage, au diagnostic, au traitement ainsi qu'à la recherche.

Pour ce faire, ils doivent posséder une gamme de compétences, y compris une connaissance approfondie de l'anatomie humaine, une maîtrise des techniques d'imagerie, et la capacité à interagir efficacement avec les patients et les autres professionnels de la santé.

Les manipulateurs en électroradiologie médicale exercent au sein d'équipes pluridisciplinaires (médecins, chirurgiens, pharmaciens, physiciens, soignants, ...) dans les structures de santé publiques ou privées, dans le respect des dispositions légales et réglementaires (*Manipulateur(Trice) En Électroradiologie Médicale (MERM)* – Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités, 2022) (Portfolio de l'étudiant).

3.2.2. La légitimité

Dans le cadre de ce mémoire sur l'intégration des plateformes d'impression 3D par les manipulateurs en électroradiologie médicale, la légitimité se présente comme un concept fondamental à aborder.

Avant toute chose, je vais définir ce qu'est la légitimité. D'après, le Robert, « *la légitimité, c'est l'état de ce qui est légitime ou considéré comme tel.* »

Elle fait référence à la reconnaissance, souvent définie par des normes ou des qualifications professionnelles, de la compétence d'un individu ou d'un groupe à exercer certaines tâches ou responsabilités au sein d'un domaine déterminé. J'ai pu faire des recherches sur la légitimité ; elles s'inspirent des travaux de Max Weber, un sociologue allemand. Il a pu dégager quatre grands types de légitimité : rationnelle-légale, traditionnelle, charismatique et enfin la légitimité issue de l'expertise.

Celle que j'ai décidé d'argumenter et qui me semble la plus pertinente à aborder dans ce mémoire est la suivante : **la légitimité issue de l'expertise**. Selon Weber, « *la domination issue de cette légitimité repose sur la reconnaissance de qualités particulières, mais celles-ci se situent dans le registre bien déterminé de la compétence : le fait d'être identifié et reconnu comme l'un des détenteurs d'une compétence essentielle pour la communauté ou l'organisation confère à son détenteur une légitimité qui n'est pas contestable et qui fonde son pouvoir.*

Précisons d'ailleurs que cette reconnaissance peut être attestée et garantie par des références (titre, diplôme, etc.) ou simplement par familiarité acquise. L'important est qu'elle soit reconnue puisque c'est cette reconnaissance qui fonde la légitimité. » (Aubert et al., 2010)

Il est à noter, comme nous le verrons plus loin, que les manipulateurs en électroradiologie médicale possèdent déjà un certain nombre de compétences liées au domaine de l'imagerie et du post-traitement des images qu'ils réalisent au quotidien.

Néanmoins, il existe d'autres compétences spécifiques à l'impression 3D, qui peuvent être acquises sur le terrain auprès d'ingénieur en impression 3D ou encore avec une formation (exemple du DU de Besançon).

3.2.3. Qu'est-ce qu'une compétence ?

Comme ce mémoire touche à la notion de compétence, il est donc intéressant de s'interroger sur ce qu'est une compétence. D'après le Robert, une compétence, c'est « *une connaissance approfondie, reconnue, qui confère le droit de juger ou de décider en certaines matières* » (Compétence - Définitions, Synonymes, Prononciation, Exemples | Dico En Ligne le Robert, s. d.).

Cette connaissance peut se faire par le biais de la formation, de l'apprentissage sur le tas, et de l'utilisation des nouvelles technologies. Dans le contexte de l'impression 3D, cela pourrait impliquer la formation des manipulateurs en électroradiologie à l'utilisation de cette technologie dans leurs pratiques.

Lors de mes recherches sur la notion de compétence, j'ai pu trouver la définition de compétence définie par Guy Le Boterf : « *Une personne compétente est une personne qui sait agir avec pertinence dans un contexte particulier, en choisissant et en mobilisant un double équipement de ressources : ressources personnelles (connaissances, savoir-faire, qualités, culture, ressources émotionnelles...) et ressources de réseaux (banques de données, réseaux documentaires, réseaux d'expertise, etc.). Savoir agir avec pertinence, cela suppose d'être capable de réaliser un ensemble d'activités selon certains critères souhaitables.* » (Le Boterf, 1999, p. 38).

Il ne faut plus lister les différentes compétences que possède un individu, mais de différencier, « être compétent » et « avoir des compétences ». Guy Le Boterf fait donc bien la distinction entre ces deux notions.

Il distingue : « Être compétent », « *c'est être capable d'agir et de réussir avec pertinence et compétence dans une situation de travail (activité à réaliser, événement auquel il faut faire face, problème à résoudre, projet à réaliser...).* C'est mettre en œuvre une pratique professionnelle pertinente tout en mobilisant une combinatoire appropriée de ressources. On se réfère ici au domaine de l'action. » D' « Avoir des compétences », *c'est avoir des ressources (connaissances, savoir-faire, méthodes de raisonnement, aptitudes physiques, aptitudes comportementales...) pour agir avec compétence.* » (Boterf, 2010)

Dans un entretien avec Guy Le Boterf, il mentionne : « *la définition que je créais de la compétence était la suivante « un savoir agir en situation » mobilisant une combinatoire appropriée de ressources internes (personnelles) et externes (de son environnement) »* (Boterf, s. d.).

Richard Wittorski rejoint l'idée de Guy Le Boterf. En effet, selon Wittorski : « *la compétence est un « savoir agir » reconnu : on ne se déclare pas soi-même compétent. »* (Wittorski, 1998)

Comme j'ai pu l'observer, la capacité à agir implique non seulement la mise en place d'une pratique professionnelle pertinente pour atteindre les objectifs fixés, mais aussi la détection et la mobilisation des ressources appropriées. Il est donc possible que la compétence soit liée à des méthodes opératoires variées et il n'y a donc pas de modèle unique pour l'expression de cette compétence.

Guy Le Boterf souligne que dans cette situation, il est important de considérer les référentiels de compétences non pas comme des « moules » dans lesquels il serait préférable de se couler, mais plutôt comme des « points de repères », du « prescrit ouvert ». (Huberty, 2022)

Notre analyse ici de la notion de compétence, souligne donc les définitions de différents auteurs tels que Guy Le Boterf et Richard Wittorski. Cette étude entre « être compétent » et « avoir des compétences », nous donne un appui solide concernant l'intégration des manipulateurs en électroradiologie médicale au sein des plateformes d'impression 3D.

Huberty (2022), renvoie dans cette capacité à agir à trois types de conditions :

- « **savoir agir** : acquisition des ressources personnelles par le biais de la formation notamment, en particulier la formation en situation de travail ;
- **pouvoir agir** : contexte et moyens propres à l'environnement de travail de la personne et qui lui permettront de mettre en œuvre une pratique professionnelle pertinente ;
- **vouloir agir** : motivation à mettre en œuvre des pratiques professionnelles et à acquérir et mobiliser les ressources nécessaires. Cette motivation dépend

en grande partie du type de management des ressources humaines en vigueur. »

En effet, le fait de considérer la compétence comme un « savoir agir », qui mobilise à la fois les moyens personnels et externes, nous démontre que les manipulateurs peuvent acquérir de nouvelles ressources appropriées à l'utilisation de nouvelles technologies telles que l'impression 3D.

L'étude de la notion de compétences m'amène donc à analyser le décret de compétences des manipulateurs en électroradiologie médicale.

3.2.4. Le décret de compétences des manipulateurs en électroradiologie médicale

Le but étant de traiter la question de la légitimité des manipulateurs en électroradiologie médicale, il est donc clair qu'il faut faire référence à leur décret de compétences (cf. **Annexe 9.1.**).

Je veux mettre en avant dans cette partie les compétences qu'ont les manipulateurs, et qui pourraient être intéressantes à développer dans le but de montrer qu'ils sont d'ores et déjà légitimes à intégrer les plateformes d'impression 3D.

Le décret est en perpétuelle modification du fait de l'évolution technique en imagerie médicale, mais aussi des pratiques des manipulateurs ce qui leur permet de prendre la main sur délégation de nouvelles compétences.

Les textes détaillent les actions auxquelles les manipulateurs sont autorisés et les domaines de responsabilité qui leur sont assignés lors de leur activité professionnelle. Ainsi, les domaines d'intervention sont mentionnés dans les référentiels d'activités et de compétences. Ces référentiels ont pour but de détailler les activités et les compétences du métier qui doivent être acquises par les professionnels et attestées par l'obtention du diplôme d'Etat.

La loi du 14 juin 2012 indique que les manipulateurs ont un référentiel d'activités constitué de dix activités qui sont les suivantes :

1. Accueil de la personne soignée et recueil des données.
2. Informations de la personne soignée et mise en œuvre des soins dans le cadre de la continuité des soins.
3. Réalisation de soins à visée diagnostique et thérapeutique dans le champ de l'imagerie, la médecine nucléaire, la radiothérapie et les explorations fonctionnelles.
4. Exploration, gestion et transfert des données et images.
5. Mise en œuvre des mesures de radioprotection.
6. Mise en œuvre des mesures liées à la qualité et à la prévention des risques.
7. Organisation des activités et gestions administratives.
8. Contrôle et gestion des matériels, dispositifs médicaux et produits.
9. Formation et information des professionnels et étudiants.
10. Veille professionnelle et recherche.

Dans le cadre de cette recherche, je vais plus particulièrement m'intéresser à l'activité 4 « Exploration, gestion et transfert des données et images. » Plus précisément, aux traitements des données acquises au cours du diagnostic ou de traitement. En effet, on y retrouve l'intégration des données et images ; la sélection des données et images ; le traitement des données morphologiques ; le traitement des données quantitatives ; le traitement des données fonctionnelles et le traitement des données de dosimétrie.

Concernant le référentiel de compétences pour les manipulateurs, il est également établi en dix compétences, qui sont :

1. Analyser la situation clinique de la personne et déterminer les modalités des soins.
2. Mettre en œuvre les soins à visées diagnostiques et thérapeutiques en imagerie médicale, médecine nucléaire, radiothérapie et explorations fonctionnelles, en assurant la continuité des soins.
3. Gérer les informations liées à la réalisation des soins à visées diagnostique et thérapeutique.
4. Mettre en œuvre les règles et les pratiques de radioprotection des personnes soignées, des personnels et du public.
5. Mettre en œuvre les normes et principes de qualité, d'hygiène et de sécurité pour assurer la qualité des soins.
6. Conduire une relation avec la personne.
7. Évaluer et améliorer ses pratiques professionnelles.
8. Organiser son activité et collaborer avec les autres professionnels de santé.
9. Informer et former.
10. Rechercher, traiter et exploiter les données scientifiques et professionnelles.

Relativement au référentiel de compétences, je vais ici, me pencher sur la compétence 3 : « Gérer les informations liées à la réalisation des soins à visées diagnostique et thérapeutique. » Je vais spécialement étudier la compétence 3.2. intitulée : « Traiter et exploiter les données et images en utilisant les logiciels de traitement. » En effet, je vais m'intéresser à cette compétence du fait que c'est celle qui est directement en lien avec le traitement des images, en particulier réalisé pour l'impression 3D.

L'étude de ce décret m'a permis de prendre conscience des différentes compétences que les manipulateurs acquièrent à l'issue de leur formation.

Je vais passer maintenant à l'étude d'un exemple concret de l'intégration d'impression 3D à l'initiative d'un manipulateur.

3.3. Etude de cas du Centre Hospitalier Universitaire de Brest

Dans le cadre de mon exploration de la légitimité des manipulateurs en électroradiologie médicale à intégrer les plateformes d'impression 3D, il me semblait essentiel d'analyser un exemple concret sur le terrain afin d'illustrer mes propos. À cet effet, il m'a semblé intéressant de mettre en exergue une étude de cas pertinente, qui illustre d'ores et déjà l'application pratique de l'impression 3D par un manipulateur en électroradiologie.

Cette étude de cas a concerné le CHU de Brest qui a intégré l'impression 3D à l'initiative d'un manipulateur en électroradiologie médicale : Samuel Guigo. J'ai pu pour cela, m'entretenir avec celui-ci afin d'échanger sur son parcours et ses missions au quotidien. Il a pu répondre à mes questions visant à en apprendre davantage sur l'impression 3D, sur ce qu'on imprime réellement, les étapes entre l'acquisition des images et l'impression, mais surtout son rôle en tant que manipulateur. Aujourd'hui, il est coordinateur de la plateforme d'impression 3D et se consacre complètement à sa structuration et au développement de l'impression 3D à l'hôpital de Brest. A ma connaissance, il est le seul manipulateur, en France, à avoir développé l'impression 3D, de A à Z.

Il n'a pas suivi de formation spécifique si ce n'est qu'il a appris sur le tas, par lui-même à base d'autoformation, de tutoriels et de conférences. Ses missions au quotidien relèvent de la gestion de projets, de conception de projets de modèles anatomiques patient-spécifique issu d'imagerie médicale type Scanner et IRM. En termes de modèles anatomiques, il imprime pour l'hôpital, des pièces pour l'étude vasculaire, des coronaires, des pièces pour visualiser les os, en médecine nucléaire, en pédiatrie, des aides techniques pour les personnes atteintes de handicap, des outils pour expliquer aux patients les procédures, pour améliorer la qualité de formation des médecins, des internes et des étudiants manipulateurs. Pour ce faire, il a dû acquérir de nouvelles compétences, telles que la conception assistée par ordinateur (la CAO), l'utilisation des logiciels pour faire des plans, de la perspective, pour faire des esquisses, pour transformer de l'imagerie 2D en 3D. Il a appris à segmenter l'imagerie médicale et à la transformer en objet numérique. Par ailleurs, il a appris tous les aspects autour de la plateforme d'impression 3D que sont : la gestion de projet, de l'élaboration du cahier des charges, de l'accompagnement des

porteurs de projet jusqu'à la publication scientifique, donc toutes ces compétences en plus des compétences de manipulateur (acquisition des images, reconstructions...).

J'en suis arrivé à lui demander pourquoi on en vient à utiliser l'impression 3D dans le milieu médical ; ce à quoi il m'a répondu que ce type d'impression était utile pour les chirurgies bien particulières, des chirurgies complexes sur lesquelles on dispose de très peu d'informations, des chirurgies atypiques qu'on ne rencontre pas tous les jours, des anévrismes intracrâniens qui sont très mal situés et difficiles à traiter, à la demande du chirurgien, qui trouve dans cet outil une aide supplémentaire pour la préparation des actes chirurgicaux, en particulier pour ceux très complexes, avec des tailles et des formes complexes, qui risquent de poser problème. L'impression 3D permet ainsi aux médecins d'avoir plus de matière et d'information pour préparer les chirurgies complexes. Elle permet aussi aux médecins de s'entraîner en amont pour assurer ensuite au mieux les phases d'apprentissage des jeunes médecins et des internes avant de réaliser de vraies interventions ; ceci permet également la formation de l'équipe paramédicale à certaines pathologies qu'on voit très rarement. Enfin et surtout de sécuriser un peu plus le soin à réaliser.

Les différentes étapes de conception d'un modèle anatomique patient-spécifique sont les suivantes : la phase d'acquisition des images 3D, la segmentation, la segmentation du DICOM vers le fichier numérique, le post-traitement du fichier numérique (conception assistée par ordinateur, les logiciels de conception informatisés), la phase d'impression et enfin la phase de post-traitement.

Pour ce faire, le manipulateur part de l'imagerie Scanner, IRM ou encore l'Angiographie qui est plus adéquate pour l'étude de la vascularisation cérébrale.

Au total, cette étude de cas offre une perspective réelle sur la question de la légitimité des manipulateurs dans leur intégration au sein des plateformes d'impression 3D.

Au vu de celle-ci, cette légitimité semble en effet être toute indiquée mais reste à conforter, notamment auprès des manipulateurs et des personnes déjà en place sur ce type de plateformes (médecins et ingénieurs).

Par ailleurs, il existe certaines compétences liées à l'impression 3D qui sont à acquérir et que ce mémoire vise en partie à identifier, comme nous allons le voir dans ce qui suit.

IV. Méthodologie

4.1. Introduction

L'ambition de ma méthodologie était de savoir qui fait quoi exactement au sein des plateformes d'impression 3D et questionner la légitimité des manipulateurs au sein de ces plateformes. C'est pourquoi j'ai d'abord réalisé un premier questionnaire en rapport avec la première problématique que j'avais choisi de traiter, qui était : **en quoi l'intégration de l'impression 3D dans le milieu hospitalier pourrait-elle influencer le développement des compétences des manipulateurs en électroradiologie médicale ?**

A la suite de mon entretien exploratoire avec un manipulateur en électroradiologie médicale, je me suis cependant rendu compte que cette première problématique n'allait pas être exploitable en raison du fait qu'à ce jour, l'ensemble des plateformes d'impression 3D, à l'exception d'une seule (à Brest), sont gérées par des médecins et des ingénieurs biomédicaux.

Ainsi, j'ai réalisé que mon premier questionnaire n'était pas pertinent du fait qu'aucun manipulateur en électroradiologie n'est actuellement intégré aux plateformes d'impression 3D. En effet, il aurait été difficile de récolter des réponses concernant le développement de leurs compétences. Dans ce contexte, ma question de recherche a dû être revue puisqu'on ne peut pas évaluer des compétences qui n'existent pas. J'ai alors recentré mon mémoire et mon questionnaire sur la légitimité.

Pour ce faire, mon choix de méthodologie est resté sur la mise en place d'un questionnaire à destination des manipulateurs en électroradiologie médicale. L'objectif étant toujours le même, de récolter les avis, les idées et leurs points de vue, mais cette fois-ci axé sur leur légitimité à intégrer ou non les plateformes d'impression 3D. J'ai voulu de plus confronter les avis entre les manipulateurs, une ingénieure et un médecin. C'est pourquoi j'ai également réalisé, à la suite, deux entretiens, l'un avec une ingénieure biomédicale exerçant sur ce type de plateformes et l'autre avec un médecin radiologue ayant eu recours à l'utilisation de l'impression 3D.

4.2. Méthodologie de recherche

4.2.1. Le choix des outils de recherche

Comme dit ci-dessus, ma recherche s'est basée : (1) sur l'envoi d'un questionnaire à des manipulateurs en électroradiologie médicale ; (2) un entretien avec une ingénieure biomédicale en impression 3D ; (3) un deuxième entretien avec un médecin radiologue.

Je voulais à partir du questionnaire récolter un maximum de données auprès des manipulateurs en électroradiologie afin d'avoir leur point de vue sur la légitimité ou non à leur intégration sur des plateformes d'impression 3D. Les deux entretiens devaient ensuite me permettre, quant à eux, d'avoir un regard externe sur cette légitimité. Mais surtout savoir s'il y a une réelle place pour les manipulateurs au sein des plateformes d'impression 3D.

Ce qui explique mon choix d'approche mixte pour combiner des données quantitatives (basées sur le questionnaire aux manipulateurs) et des données qualitatives (basées sur les deux entretiens).

4.2.2. Échantillonnages

Aujourd'hui la quasi-totalité des plateformes d'impression 3D est gérée par des médecins et des ingénieurs biomédicaux. Le but était donc d'interroger les manipulateurs en électroradiologie médicale des différents CHU disposant d'une plateforme d'impression 3D en France afin de les questionner sur leur légitimité à être intégrés dans le processus d'impression 3D.

La population visée par ce questionnaire était donc spécifiquement ce type de manipulateurs. Suite à mon entretien avec Samuel Guigo, il s'est porté volontaire pour diffuser mon questionnaire au sein des dix-neuf CHU de France utilisant l'impression 3D dans leurs locaux.

En plus des questionnaires, comme dit plus haut, j'ai réalisé deux entretiens, un avec une ingénieure gérant une plateforme d'impression 3D. Et le deuxième entretien avec un médecin radiologue au sein d'un CHU.

4.3. Collecte des données

4.3.1. Questionnaire pour les manipulateurs en électroradiologie médicale

Pour constituer mes analyses, j'ai réalisé un questionnaire comportant dix-neuf questions, dont trois ouvertes et seize fermées (cf. **Annexe 9.2**).

Celui-ci a été organisé en plusieurs parties, plus exactement six détaillées ci-dessous. La première partie portait sur les informations personnelles, le profil et le secteur d'activités des manipulateurs. Ces questions permettaient d'avoir des informations concernant la population questionnée.

Ensuite, la deuxième partie traitait de l'utilisation de l'impression 3D dans le milieu hospitalier. Je les ai ainsi questionnés sur leur implication avec l'impression 3D. Les deux questions posées permettaient de voir s'ils étaient impliqués ou non dans l'impression 3D et si oui dans quelles parties ils intervenaient.

Ensuite venaient des questions en rapport aux traitements des images, qui me permettaient de savoir s'ils appliquaient un traitement d'images et si oui lequel.

Par la suite, la troisième partie explorait l'intérêt qu'ils pouvaient avoir pour l'impression 3D et estimer, ce qui motivait cet intérêt.

La question d'après : « D'après-vous, quels sont les freins au fait que ça soit le manipulateur qui fasse le traitement des images et la continuité du processus d'impression 3D ? », afin de voir ce qui fait que les manipulateurs ne sont pas encore intégrés dans cette technologie. « Pensez-vous que l'impression 3D devrait être intégrée de manière plus étendue dans la formation de manipulateur en électroradiologie médicale à l'avenir ? », ici la question avait pour but d'avoir leur point de vue sur la nécessité d'inclure l'impression 3D au sein de la formation de manipulateur ou du moins permettre une meilleure diffusion de l'information pour les manipulateurs intéressés après la formation initiale. Enfin, la dernière question de cette partie : « Pensez-vous que ça doit être aux manipulateurs de faire de l'impression 3D ? », celle-ci avait clairement pour but d'interroger les manipulateurs sur pourquoi ce n'est pas eux qui le font et plutôt les médecins et les ingénieurs biomédicaux.

La quatrième partie du questionnaire abordait les formations et les compétences ; effectivement ces deux notions me questionnent quant à la légitimité ou non des manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D. Ainsi, la première question de cette partie examinait l'intérêt qu'ont les manipulateurs à être formés sur l'impression 3D. Puis une question sur le type de formation qu'ils « apprécient ». Les deux dernières questions de cette partie, portaient sur les compétences ; je les ai ainsi interrogés sur les compétences qu'ils possédaient et ce, afin de tester la légitimité qu'ils pourraient d'ores et déjà avoir pour intégrer l'impression 3D. Ainsi qu'une question sur les compétences qu'ils devraient acquérir afin de pouvoir prétendre à intégrer l'impression 3D dans leurs pratiques.

La cinquième partie se concentrait sur le sujet principal de ce mémoire qui est la légitimité. C'est la raison pour laquelle j'ai questionné les manipulateurs sur leur point de vue concernant la légitimité qu'ils ont ou non à intégrer les plateformes d'impression 3D : « Au vu des compétences que possèdent les manipulateurs à l'issue de leur formation, pensez-vous donc qu'ils sont légitimes à l'intégration au sein des plateformes d'impression 3D pour faire de la segmentation, du traitement des images et le paramétrage des imprimantes ? » Suite à leur réponse à cette question, j'ai posé la question suivante : « Pouvez-vous expliquer pourquoi vous vous sentez légitime ou non à cette intégration ? » ; ici une question ouverte afin de justifier la légitimité ou non qu'ils ont pour avoir leur avis sur l'intégration à l'impression 3D.

Enfin le thème de la dernière partie, était à titre facultatif ; elle permettait aux répondants de faire des commentaires sur l'impression 3D, ou s'ils avaient des choses à rajouter.

4.3.2. Entretien avec l'ingénieure

Réaliser un entretien avec une ingénieure m'a semblé judicieux, et ce, afin d'avoir son avis concernant la légitimité à intégrer l'impression 3D dans les pratiques des manipulateurs en électroradiologie médicale, sachant qu'actuellement ce sont les ingénieurs et les médecins qui sont en charge des plateformes d'impression 3D.

Pour ce faire, j'ai sollicité Samuel Guigo, qui a pu me donner le contact d'une ingénieure en impression 3D.

J'ai ainsi mis en place une grille d'entretien, validée par mon guidant (cf. **Annexe 9.3.**).

Les objectifs principaux de l'entretien étaient les suivants :

- comprendre comment se met en place une plateforme d'impression 3D
- comprendre ce que fait réellement un ingénieur biomédical en impression 3D
- comprendre l'activité au sein d'une plateforme d'impression 3D
- avoir l'avis d'une ingénieure sur la légitimité des manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D

Dans un premier temps, j'ai pu me présenter ainsi que mon sujet de recherche afin de pouvoir être clair sur le cadre de cette demande d'entretien et le but de celui-ci (cf. **Annexe 9.3.**).

La première question avait pour but de mieux comprendre ce qui se fait au sein d'une plateforme d'impression 3D ainsi que les activités de l'ingénieure.

Voici la question :

- Pouvez-vous décrire votre rôle/vos missions en tant qu'ingénieur en charge de la plateforme d'impression 3D ?

J'ai préparé pour cette question des relances : pour en savoir un peu plus sur le lien entre le traitement des images IRM/ Scanner de l'acquisition des images patients jusqu'à l'impression.

La deuxième question avait pour but de voir si les manipulateurs sont déjà intégrés dans le processus d'impression 3D ou non.

- Travaillez-vous de près ou de loin avec les manipulateurs ?

Comme relance j'avais : Si oui, dans quelles mesures ? Si non, les équipes d'impression 3D sont-elles en lien ? (chirurgiens, radiologues, constructeurs, d'autres maillons de la chaîne...)

La troisième question avait pour but de déterminer si les compétences des manipulateurs sont transposables et peuvent être utiles en impression 3D.

- Pouvez-vous identifier des compétences que les manipulateurs possèdent et qui seraient intéressantes pour l'utilisation de l'impression 3D ?

J'avais comme attentes pour cette question les réponses suivantes : anatomie en coupe, acquisition des images et les reconstructions.

La quatrième question permettait de voir les aspects positifs et négatifs d'une potentielle intégration du point de vue de l'ingénieure.

- Quels sont, selon vous, les avantages et les inconvénients potentiels de l'intégration des manips au sein des équipes gérant les plateformes d'impression 3D ?

De nouveau j'avais comme attentes les réponses suivantes : connaissances de l'anatomie en coupe, meilleure acquisition pour l'impression 3D et connaissance de l'imagerie médicale.

La cinquième question avait pour but de voir l'attente que pourraient en avoir les médecins et les ingénieurs, s'il y avait la place pour une potentielle intégration des manipulateurs.

- Quel serait le rôle des manipulateurs, s'ils intègrent les plateformes d'impression 3D ?

Pour ce qui est de la relance je me posais les questions suivantes : si c'était du traitement des images, de la modélisation ? De l'acquisition de l'image patient jusqu'à l'impression ?

La sixième question avait clairement pour but d'avoir l'avis de l'ingénieure sur la légitimité concernant les manipulateurs.

- Pensez-vous que les manipulateurs sont légitimes à l'intégration dans les plateformes d'impression 3D ?

Pour la relance, l'objectif était qu'elle approfondisse son avis c'est pourquoi j'ai posé les questions suivantes : Pourquoi ? Compétences ? Formation ? Limites ? La responsabilité.

Le but de la question sept était de savoir si elle connaissait des manipulateurs potentiellement intéressés par l'impression 3D.

- Avez-vous déjà eu des retours de manips qui seraient intéressés par l'intégration des plateformes d'impression 3D ?

4.3.3. Entretien avec le médecin

Par la suite, au vu du très faible nombre de réponses à mon questionnaire, il était primordial pour moi de réaliser un deuxième entretien afin d'avoir plus d'éléments à analyser pour ma question de recherche.

Le choix du médecin a été fait à la suite d'un article que j'ai pu lire lors de mes premières recherches (Bras et al., 2023). Je l'ai donc contacté et ai obtenu une réponse positive de sa part.

J'ai ainsi mis en place une grille d'entretien, validée par mon guidant (cf. **Annexe 9.4.**).

Les objectifs principaux de l'entretien étaient les suivants :

- revenir sur son article de recherche que j'avais étudié
- évaluer la place des manipulateurs et la question de leur légitimité, vues par un médecin radiologue

Dans un premier temps, j'ai pu me présenter ainsi que mon sujet de recherche afin de pouvoir être clair sur le cadre et le but de cet entretien (cf. **Annexe 9.4.**).

La première question avait pour but de mieux comprendre comment ils en sont arrivés à utiliser de l'impression 3D en radiologie interventionnelle.

Voici la question :

- Comment en êtes-vous arrivé à utiliser l'impression 3D en radiologie interventionnelle ?

J'ai préparé pour cette question des relances : pour en savoir un peu plus sur le circuit utilisé pour l'impression : l'acquisition des images, le post-traitement éventuel, le paramétrage de l'impression... Et ce, dans l'objectif de voir où les manipulateurs pourraient être insérés au sein de cette technologie.

La deuxième question avait clairement pour but d'avoir l'avis du médecin sur la légitimité concernant les manipulateurs.

La troisième question devait permettre de déterminer s'il y a un réel rôle et intérêt à voir les manipulateurs intégrer le processus d'impression 3D.

La quatrième question permettait d'avoir une vision sur les évolutions potentielles des fonctions des manipulateurs.

La cinquième question avait pour but de voir le type de formations liées à l'impression 3D qui pourraient être proposées aux manipulateurs.

La sixième question abordait l'étude des perspectives liées à l'intégration de l'impression 3D au sein de la formation de manipulateur.

Le but de la question sept était de savoir s'il y avait des choses complémentaires à ajouter.

V. Résultats

5.1. Résultats des questionnaires

Mon questionnaire a donc été envoyé aux dix-neuf CHU de France présentant une plateforme d'impression 3D. Ci-dessous, je vais détailler les résultats du questionnaire.

L'objectif principal de cette enquête était d'étudier comment les manipulateurs voient la question de leur légitimité à intégrer ou non les plateformes d'impression 3D, ainsi que d'identifier les compétences qu'ont les manipulateurs et celles qui leur manquent afin de pouvoir faire de l'impression 3D. J'ai collecté au total trois questionnaires.

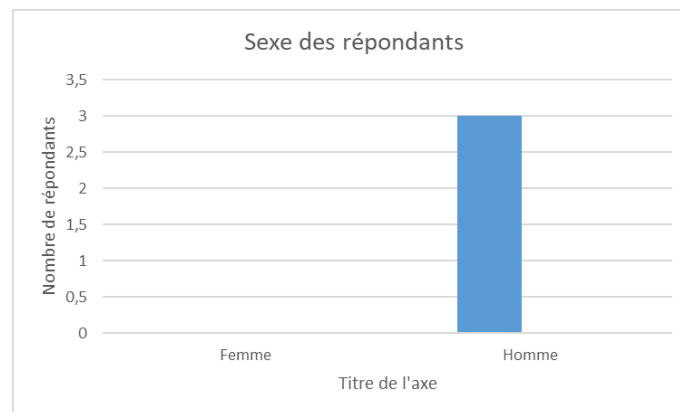


Figure 1 : Sexe des répondants

L'échantillon final de répondants est ainsi composé de trois individus, tous des hommes, comme en atteste l'histogramme de la Figure 1. (100 % d'hommes contre 0 % de femmes).

Depuis combien de temps exercez-vous en tant que manipulateur ?

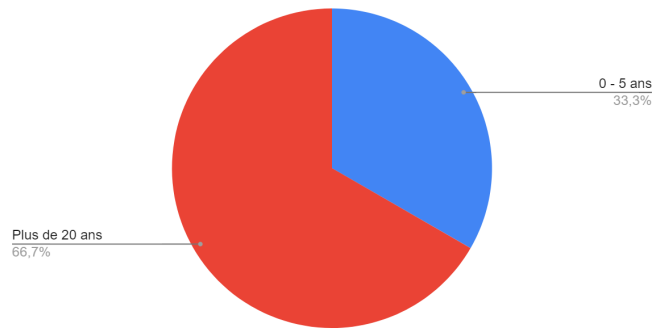


Figure 2 : Expérience professionnelle des répondants

Le diagramme illustré sur la Figure 2 présente le niveau d'expérience des répondants en nombre d'années ; 2 répondants sur 3 ayant plus de 20 ans d'expérience professionnelle en tant que manipulateurs. Concernant leurs activités (Figure 3), un seul des répondants est engagé dans de la radiologie interventionnelle ainsi que dans l'enseignement et la recherche.

Répondant 1	Scanner	IRM	Radiologie conventionnelle			
Répondant 2	Scanner	IRM	Radiologie conventionnelle	Radiologie interventionnelle	Enseignement	Recherche
Répondant 3	Scanner	IRM	Radiologie conventionnelle			

Figure 3 : Modalités d'exercice des répondants

Le tableau de la Figure 3 nous présente les différentes modalités d'exercice des manipulateurs. Ils sont tous engagés en Scanner, IRM et en radiologie conventionnelle.

En tant que manipulateur en électroradiologie médicale,
êtes-vous directement impliqué dans l'utilisation de l'impressi...

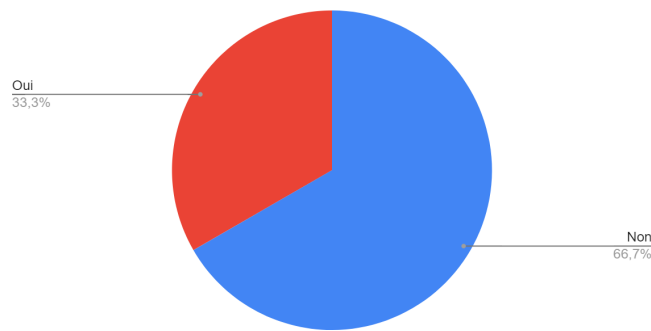


Figure 4 : Implication des manipulateurs dans l'impression 3D

Quant à leur implication dans l'impression 3D, sur les trois répondants, un seul a répondu positivement (Figure 4).

La personne ayant répondu positivement à la question précédente, a répondu « acquisition des images » pour la question concernant l'étape dans laquelle il est directement impliqué.

Y a-t-il un traitement particulier que vous appliquez aux images
avant une impression 3D ?

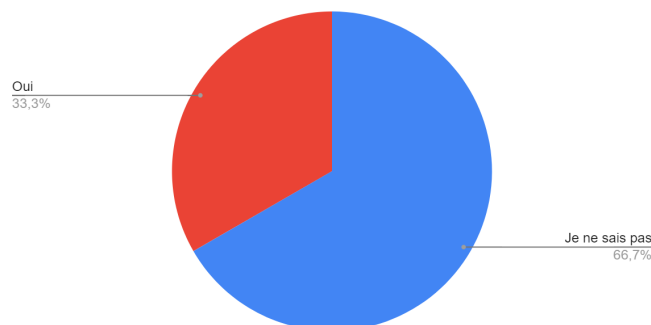


Figure 5 : Traitement des images

Le diagramme de la Figure 5 présente les réponses des répondants concernant le traitement des images avant une impression 3D. Une seule personne a répondu « oui » à la question.

La question d'après repose sur la question précédente, afin d'en savoir un peu plus sur ce qui est réellement fait en termes de traitement d'images. Pour cette question j'ai pu avoir deux réponses. La première personne a répondu « segmentation, maillage, nettoyage, slicing... » et la deuxième personne « On fait des images en IRM pour une société de fabrication de prothèse de genoux 3D. »

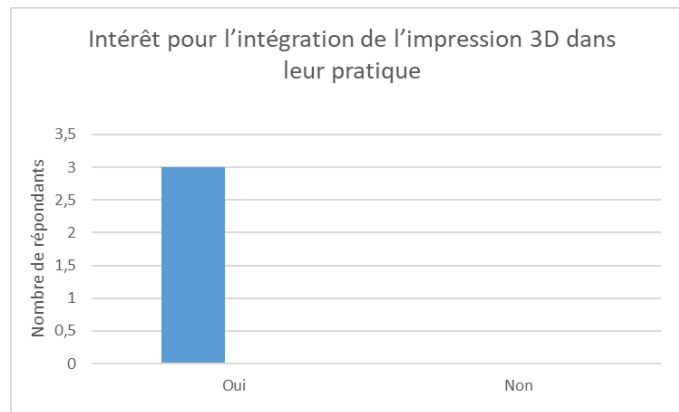


Figure 6 : Intérêt pour l'intégration de l'impression 3D dans leur pratique

Concernant l'intérêt que peuvent avoir les manipulateurs dans l'intégration de l'impression 3D présenté dans la Figure 6, la totalité ici des répondants ont répondu positivement.

Si oui, quelles seraient, selon vous, les principales raisons motivant cet intérêt ? Cochez une ou plusieurs réponses possibles :

3 réponses

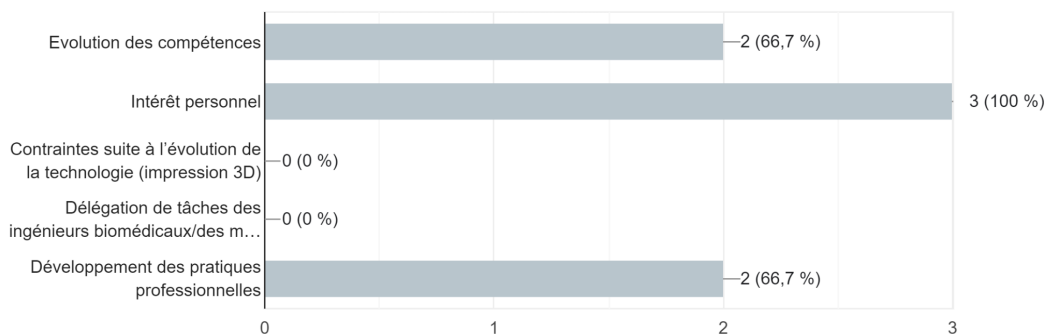


Figure 7 : Graphique à barres représentant les motivations de cet intérêt pour l'impression 3D

Le graphique de la Figure 7 nous présente les différentes motivations pour cet intérêt. On y retrouve l'évolution des compétences, l'intérêt personnel et le développement des pratiques professionnelles.

D'après-vous, quels sont les freins au fait que ça soit le manipulateur qui fasse le traitement des images et la continuité du processus d'impression 3D ? Cochez une ou plusieurs réponses possibles : 3 réponses

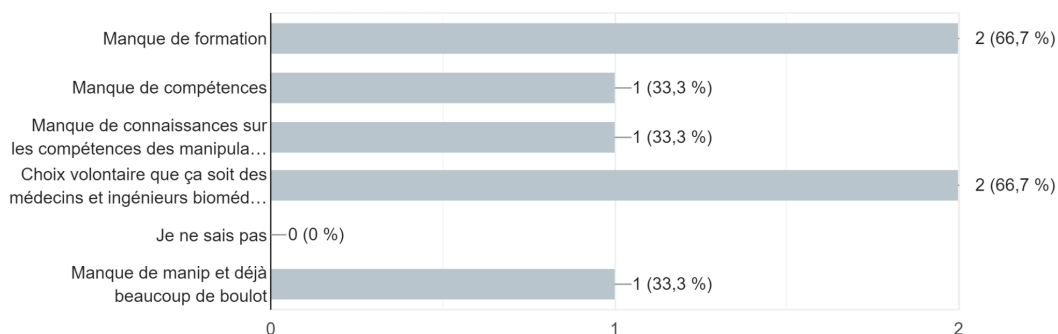


Figure 8 : Graphique à barres représentant les freins de cette intégration

Le graphique de la Figure 8 nous montre les différents freins à l'intégration des manipulateurs dans le processus d'impression 3D.

Pensez-vous que l'impression 3D devrait être intégrée de manière plus étendue dans la formation de manipulateur en...

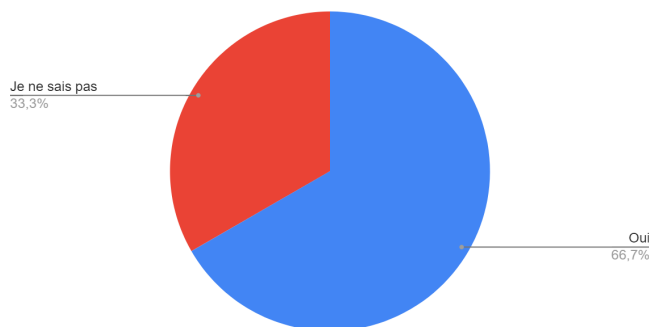


Figure 9 : Intégration de l'impression 3D dans la formation des manipulateurs

Le diagramme sur la Figure 9 représente les réponses concernant l'avis des répondants sur le fait d'intégrer l'impression 3D dans la formation des manipulateurs.



Figure 10 : Les manipulateurs et l'impression 3D

Les deux diagrammes ci-dessus (Figures 9 et 10) montrent que, sur les trois répondants, deux sont pour l'intégration de l'impression 3D dans la formation des manipulateurs, le troisième ne sachant pas, et que l'impression 3D puisse être réalisée par les manipulateurs.

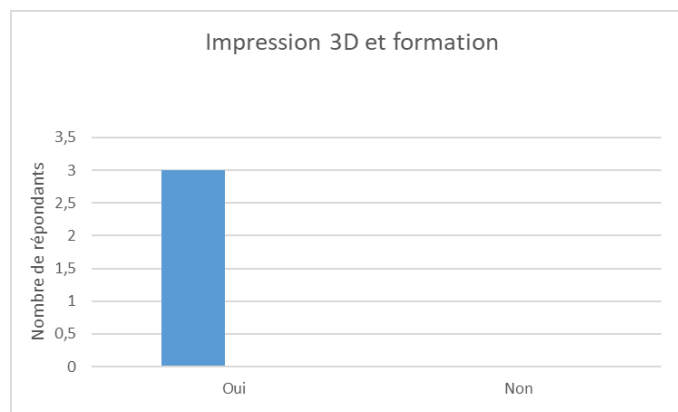


Figure 11 : Impression 3D et formation

Quant à la question d'une formation spécifique sur l'utilisation de l'impression 3D (Figure 11), les trois répondants ont répondu positivement.

Si oui, quel(s) type(s) de formation(s) vous intéresse(nt) le plus ? Cochez une ou plusieurs réponses possibles :
3 réponses

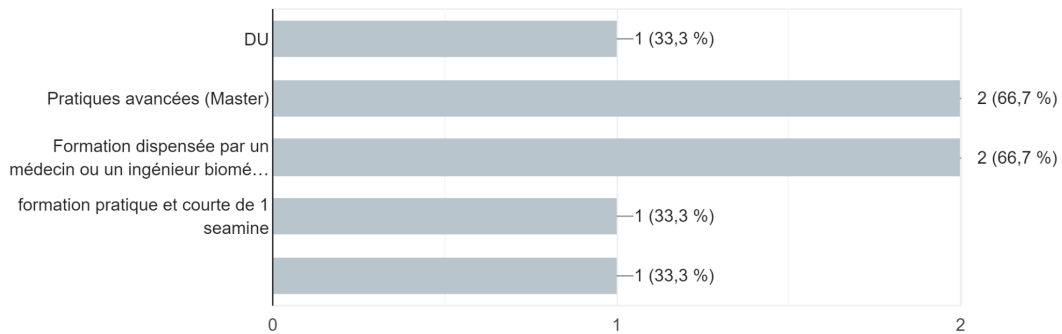


Figure 12 : Les formations choisies par les répondants

Le diagramme illustré sur la Figure 12 présente le type de formations qu'ils souhaitent. On y retrouve, le DU, les pratiques avancées (Master), une formation dispensée par un médecin ou un ingénieur biomédical et enfin un des répondants à suggéré une formation pratique et courte d'une semaine.

Quelles compétences avez-vous déjà qui vous permettraient de faire de l'impression 3D ? Sélectionnez toutes les compétences qui s'appliquent :
3 réponses

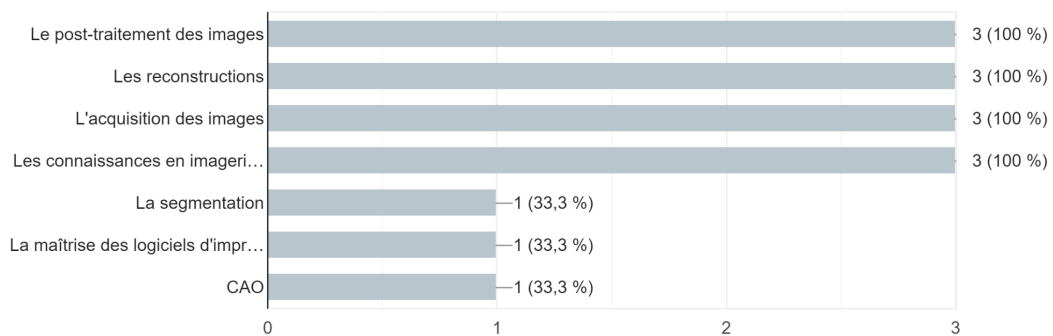


Figure 13 : Les compétences des manipulateurs

Le diagramme illustré sur la Figure 13 présente les compétences que les manipulateurs possèdent à l'issue de leur formation.

Quelles sont les compétences qui vous manquent pour faire de l'impression 3D ? Sélectionnez toutes les compétences qui s'appliquent :
3 réponses

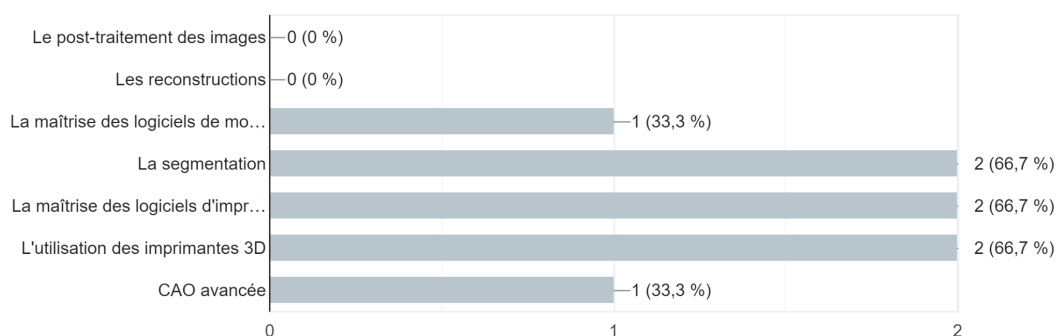


Figure 14 : Les compétences manquantes aux manipulateurs

Celui illustré sur la Figure 14 présente quant à lui les compétences manquantes aux manipulateurs pour intégrer l'impression 3D.

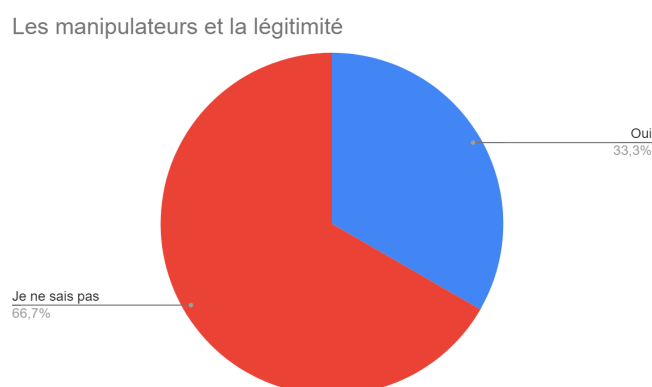


Figure 15 : Les manipulateurs et la légitimité

Enfin, concernant la question de la légitimité (Figure 15), sur les trois répondants, l'un estime qu'ils sont légitimes et les deux autres ont répondu « je ne sais pas ».

Répondant 1	« L'imagerie de coupe et la visualisation dans l'espace sont des compétences intrinsèquement au manipulateur radio. Nous avons les meilleures bases pour acquérir cette nouvelle compétence. »
Répondant 2	« Autoformation et intérêt personnel. »
Répondant 3	« Comme vous ne donnez pas d'exemple de à quoi servira l'impression 3D. »

Figure 16 : Tableau récapitulatif qui explique cette légitimité

Le tableau illustré sur la Figure 16 présente les éléments qui justifient cette légitimité.

Celui illustré sur la Figure 17 présente les réponses concernant ma question ouverte sur les éventuels commentaires.

Répondant 1	Questionnaire qui présente des biais et qui limitent l'impression 3D au traitement d'image. Ce qui est en soit assez limitant. D'autres éléments sont essentiels en impression 3D : Type d'impressions (FDM, SLA, ...) , choix des matériaux, connaissance des matériaux, connaissances des performances des impressions, CAO etc etc etc... Les post traitement classiques réalisés par les MERM (MPR, MIP volume rendering) ne sont pas ceux qui servent en impression 3D. Il faut une bonne connaissance des méthodes de seuillage (threshold, growing region, snake, etc etc +/- iA....) et la formation des MERM dans ces méthodes est très aléatoire selon leur lieu de formation (en règle générale les MERM ne sont pas très bien formés sur ces méthodes) Par contre les atouts des MERM en impression 3D sont : - leurs connaissance anatomiques en coupe (permettant d'évaluer la justesse d'une segmentation) - leurs connaissance sur les contrastes de l'imagerie (TDM et IRM) permettant de sélectionner à partir des quelles modalités/acquisition les segmentations seront facilitées - leur connaissance des principes d'acquisitions des imageurs (paramètres) car il y a des liens assez proche avec les logiques de paramétrages des imprimantes 3D (lors de l'étape de slicing)
Répondant 2	Manque d'information sur le but de l'impression 3D

Figure 17 : Commentaires supplémentaire des répondants

5.2. Résultats de l'entretien avec l'ingénieure

Cette approche qualitative basée sur l'entretien avec une ingénieure biomédicale chargée d'une plateforme d'impression 3D, m'a permis d'en savoir davantage sur ce type de plateformes mais surtout d'avoir le point de vue de l'ingénieure sur la question de la légitimité que pourraient avoir les manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D. L'objectif principal était donc de comprendre si les manipulateurs avaient une place au sein des plateformes d'impression 3D.

Après avoir retranscrit l'entretien (cf. **Annexe 9.7.**), j'ai pu analyser celui-ci grâce à des cartes mentales (cf. **Annexe 9.5.1. à 9.5.8.**). L'analyse des données recueillies a ainsi permis d'identifier les différentes thématiques apparentes de cet entretien, qui sont les suivantes : (1) les compétences des manipulateurs, (2) les compétences attendues pour les manipulateurs, (3) les missions de l'ingénieure au sein de la plateforme, (4) les différentes formations abordées : celle des manipulateurs, celle de l'ingénieure et le Diplôme Universitaire d'impression 3D (DU), (5) pourquoi ne pas avoir pris les manipulateurs déjà présents en interne ?, (6) le lien entre l'ingénieure et les manipulateurs, (7) la mise en place de cette plateforme et enfin la question essentielle de notre mémoire (8) la légitimité.

Je vais désormais présenter les réponses de l'ingénieure en lien avec les différentes thématiques que j'ai identifiées.

1. Les compétences des manipulateurs :

Les compétences des manipulateurs sont diverses et peuvent être un point fort pour eux afin d'intégrer les plateformes d'impression 3D.

Hormis l'acquisition des images, l'ingénieure ne connaissait pas la formation des manipulateurs lorsque je l'ai questionnée : « **Après moi je ne connais pas trop, toute la formation que vous avez à l'école. Je ne sais pas sur qu'elle...fin.¹** », j'ai donc pu lui présenter les différentes compétences des manipulateurs :

¹ Le texte en gras se réfère directement aux propos de l'ingénieure, propos retranscrits en l'état dans l'**Annexe 9.7.**

l'anatomie, l'anatomie en coupe, l'acquisition des images, toutes les technologies liées à l'imagerie, le traitement des images ainsi que les reconstructions.

Cependant, elle a bien reconnu que les manipulateurs possèdent des connaissances solides dans les domaines tels que l'anatomie et l'imagerie médicale. Elle a affirmé : « **Voilà donc après, j'imagine que vous en tant que manip, vous avez beaucoup de bases en imagerie, l'anatomie...** ».

À ce stade, reste à déterminer si toutes ces compétences sont superposables avec celles nécessaires à l'impression 3D et suffisantes pour pouvoir intégrer l'impression 3D, d'où la question suivante.

2. Les compétences attendues pour les manipulateurs :

Dans cette thématique, j'ai abordé les compétences attendues pour les manipulateurs afin d'être intégrés dans les plateformes d'impression 3D. Ces compétences vont au-delà des connaissances de base en anatomie et en imagerie médicale, elles incluent, en effet, des compétences plus spécifiques à l'impression 3D. On y retrouve la modélisation 3D, la segmentation et l'impression en elle-même.

Lors de cet entretien, elle a pu citer quelques compétences pour les manipulateurs. Elle a mentionné la segmentation et l'impression 3D : « **Euh ça serait plus sur la segmentation peut-être et l'impression, peut-être bah faire vivre les machines, les impressions.** » De plus, elle a identifié la modélisation : « **Donc à la fois sur l'anatomie et la chirurgie et sur la modélisation et la segmentation.** »

3. Les missions de l'ingénieure au sein de la plateforme :

Cette thématique a exploré les différentes missions de l'ingénieure biomédicale au sein de la plateforme d'impression 3D. Elle a pu me lister toutes ses missions, on y retrouve la gestion des demandes, la planification chirurgicale, la segmentation des données d'imageries, la modélisation 3D, la calibration des machines, la gestion des projets de recherche et les différents contrôles qualité des impressions 3D.

L'ingénieure biomédicale mentionne qu'elle reçoit les demandes des différents services de chirurgie, notamment pour la chirurgie maxillo-faciale, l'orthopédie, la neurochirurgie et la neuroradiologie. En effet, elle dit : « **Et bien, alors, il y a plusieurs côtés. Je reçois les demandes des différents services qui sont plutôt des services de chirurgie. Il y a les chirurgiens maxillo faciales, l'orthopédie, la neurochirurgie, il y a de la neuroradiologie plutôt en vasculaire. En vasculaire, comme un peu à Brest. »**

Elle précise que les missions qu'elle traite au quotidien peuvent aller de la segmentation simple pour visualiser une tumeur au niveau d'organes à la planification chirurgicale et l'impression s'il y a besoin : « **Et donc, je traite les demandes au quotidien. C'est vraiment du soin courant pour les patients. Là, c'est patient spécifique. On discute avec le chirurgien de ce qu'il a besoin. Ça peut être seulement une visualisation 3D, donc une segmentation pure pour visualiser une tumeur par rapport aux organes, etc. Ou alors un peu plus loin, sur de la planification chirurgicale pure et de l'impression si besoin. »**

Seulement 20 % des cas sont, en effet, imprimés, les autres peuvent nécessiter une simple modélisation 3D ou de la planification pure : « **On n'imprime pas forcément tout, on dit plateformes d'impression 3D, mais on imprime même assez peu. On imprime 20 % des cas qu'on fait au quotidien. Les autres, c'est soit de la planification pure ou de la modélisation 3D. Je modélise des dispositifs sur mesure qui vont être utilisés au bloc, mais qui ne seront pas imprimés ici. Donc qui seront imprimés par tout ce qui est implantable ou appuies osseux. Ce n'est pas imprimé ici parce qu'on n'a pas...**» Comme cité ci-dessus, elle précise que les modèles implantables sont modélisés par elle-même mais l'impression n'est pas réalisée au sein de la plateforme d'impression 3D. En effet, ces impressions nécessitent des machines dont le coût est très élevé. Il n'imprime pas ce qui va être implanté au sein du patient.

Elle souligne également qu'elle effectue la modélisation à partir de données d'imagerie des patients stockées sur le PACS de l'hôpital : « **Oui, de toute façon pour faire un design, je pars toujours de l'imagerie du patient donné... On nous donne le nom du patient et ensuite j'accède à ses données d'imagerie sur le PACS de l'hôpital. Je segmente ce qu'il faut segmenter, la région d'intérêt et puis ensuite...le fichier de départ c'est vraiment l'imagerie du patient. »**

En plus de ces tâches quotidiennes, elle est également impliquée dans la calibration des machines : « **Et puis après les calibrations des machines, tout ce qui est un peu annexe entre guillemet mais qu'il faut faire au quotidien sur les imprimantes.** », la gestion des projets de recherche et la rédaction d'articles scientifiques : « **les projets de recherche, les articles scientifiques, ça c'est un autre travail en fait. Je vais travailler avec quelqu'un pour un article pour un tel sujet, ça va être totalement différent du soin courant des patients. Mais ça fait partie aussi de mon quotidien, les projets de recherche.** »

Des contrôles qualités sont également réalisés pour garantir que les modèles anatomiques imprimés coïncident bien avec l'anatomie du patient et qu'ils répondent aux exigences : « **Oui, y a des contrôles, j'ai une fiche de contrôles qui, y a les contrôles qualités post-fabrication voilà. Pour montrer que ce qu'on imprime est conforme à ce qu'on a la demande. Après ça reste des modèles anatomiques, c'est assez basique comme dispositif médicaux hein donc on prend pas beaucoup de grands risques à imprimer. Mais voilà il faut quand même montrer que ça correspond à l'anatomie du patient etc. Mais voilà on ne fait rien qui va dans le patient.** »

4. Les différentes formations :

Cette thématique aborde les différentes formations, celle de l'ingénieure, celle des manipulateurs et enfin le diplôme universitaire impression 3D. Je vais détailler chacune de ces formations.

a. Celle des manipulateurs :

Cette sous-thématique examine la discussion sur la formation des manipulateurs. Elle met en avant les questions posées par l'ingénieure sur la durée et les cours donnés dans cette formation.

L'ingénieure a exprimé son manque de connaissances concernant la formation des manipulateurs, ce qui a amené des questions de sa part au sujet de la durée de celle-ci et du contenu : « **C'est sur trois ans c'est ça ?** » et « **Et du coup au niveau de la formation, fin hors imagerie, etc vous avez des cours sur quoi ?** »

Auxquelles j'ai répondu que la formation des manipulateurs dure effectivement trois ans. Concernant la question sur les cours dispensés, j'ai cité l'anatomie, la physiologie, la technologie liée à l'imagerie, les reconstructions d'images ou encore le relationnel patient.

b. Celle de l'ingénieure :

Cette sous-thématique examine le parcours de formation de l'ingénieure biomédicale en charge de la plateforme d'impression 3D.

Les verbatims tirés de l'entretien montrent qu'elle a été embauchée par la société Materialise, un leader dans les logiciels de segmentation et modélisation pour le domaine médical et pour l'impression 3D : « **En fait j'ai, à la sortie de mon école j'ai été embauché par la société de Materialise qui eux à l'époque était un des leader dans les logiciels de segmentation et de modélisation pour le domaine médicale et pour l'impression en 3D en particulier et ils font aussi des dispositifs sur mesure pour la chirurgie maxillo-faciale en particulier fabriqué par impression 3D.** »

Elle a travaillé pendant dix ans dans cette société où elle a pu acquérir des compétences sur les logiciels et la planification chirurgicale avec les chirurgiens, en particulier dans le domaine de la chirurgie maxillo-faciale : « **Moi vu que j'étais au tout début de cette activité secretarial, j'ai travaillé pendant 10 ans j'ai appris beaucoup de cette société et donc petit à petit je me suis bien sûr formé sur les logiciels, ce que je faisais c'est la planification avec les chirurgiens sur la reconstruction, différentes choses particulièrement, en maxillo et puis après bah l'activité s'est vraiment développée dans d'autres sociétés ... puis après voilà, j'ai voulu changer un petit peu et me retrouver un peu plus au contact des soignants et des patients et du coup voilà.** »

Elle mentionne qu'elle a postulé dans le but de pouvoir travailler au sein d'un hôpital mais aussi de découvrir d'autres spécialités : « **La plateforme de Besançon a été créée en 2020, mais initiée en 2018 mais avec les années de covid donc ça dure depuis un petit moment donc ça a été vraiment ouvert en 2020. Et donc après ils ont vraiment créé ce poste là en 2022 donc j'ai pu faire ce que je faisais avant mais dans un hôpital et en plus, en plus varié puisqu'il est plus**

ouvert à de spécialité finalement ouvert a plus de spécialité de l'hôpital donc voilà. C'est donc comme ça que je suis arrivé ici. »

Elle mentionne également qu'elle n'avait pas de formation spécifique sur l'impression 3D à sa sortie d'école en 2012 : « **Voilà après j'avais pas de formation spécifique sur l'impression 3D.** », mais qu'elle a acquis une certaine expertise grâce à son expérience chez Materialise et à sa formation en biomécanique et en imagerie médicale : « **J'avais une formation d'école d'ingénieure quand même biomédicale et ensuite sur l'impression 3D en tant que telle vu que c'était pas très développé, fin quand je suis sorti de l'école en 2012, on en entendait pas vraiment parlé, c'était le tout début de chez Materialise là où j'ai été embauché, c'était vraiment le tout début de cette activité là et c'est là-bas que finalement je me suis beaucoup formé, sur leur logiciel et au contacte des chirurgiens au quotidien. Donc à la fois sur l'anatomie et la chirurgie et sur la modélisation et la segmentation. Après j'avais beaucoup de bases en imagerie médicale fin, l'école d'ingénieur vu qu'en troisième années c'était spécialisé biomédicale y'avait pas mal de cours sur la biomécanique, l'imagerie, le traitement d'images, la segmentation aussi un petit peu.** »

Enfin, elle a souligné l'importance de tout ce qui est lié aux normes de qualité et à la réglementation, connaissances qu'elle a acquises à son école d'ingénieur : « **Je sais que nous, en école d'ingénieur, on avait pas mal de cours sur la qualité et la réglementation, même si elle a changé entre-temps et il faut se remettre à jour. Mais en tant qu'ingénieure sur la plateforme 3D, il faut quand même avoir tout ça en tête, que ce n'est pas juste des imageries patients, c'est aussi toutes les procédures, les modes opératoires associés. Fin tout ce qui est associé, il faut être en règle sur ce qu'on fait.** »

c. Le Diplôme Universitaire :

Cette sous-thématique explore la création et le contenu du diplôme universitaire (DU) d'impression 3D. Je vais voir la formation plus en détails, son accès et son contenu.

Les verbatims indiquent que le DU d'impression 3D est ouvert à différents profils : « ... **même si ici à Besançon, on a créé un DU d'impression 3D, qui est ouvert à tout type de profil, que ce soit médecin, ingénieur, manipulateur radio.** » et se déroule sur plusieurs sessions de trois jours chacune : « **C'est sur plusieurs formations, il y a en janvier, mars et mai. Il y a trois jours à chaque fois.** », « **Donc oui, je disais sur le DU, c'est le docteur Louvrier, qui est chirurgien maxillo-facial et qui a créé ce DU. Il est accessible à tous. Donc, c'est une formation qui est sur 3 fois 3 jours.** »

La formation aborde plusieurs sujets, notamment la segmentation, la planification sur les logiciels ainsi que la réglementation associée à l'impression 3D : « **C'est assez complet en fait, c'est à la fois sur tout ce qui est les segmentations, planification sur les logiciels et à la fois sur la réglementation associée à tout ça. Parce que maintenant le règlement européen, il y a quand même pas mal de choses à savoir. Il n'y a pas que de la technique, de l'imagerie, de l'anatomie sur les plateformes, il y a tout ce qui est le système qualité associé, etc. Et ça, c'est pas mal aussi d'avoir des connaissances là-dedans.** »

Elle a pu répéter à plusieurs reprises que cette formation est ouverte à tout type de profils : « **Oui, ah bah le DU, nous le DU d'impression 3D, il est ouvert à tous, celui qui existe ici.** », « **Voilà, ça peut-être n'importe qui qui le fait en plus de sa formation initiale.** » et « **Ah oui bien sûr ! Tous les ans, il y a des profils différents qui viennent donc ouais.** »

Elle est assurée par des médecins, des radiologues, des pharmaciens, des sociétés externes ainsi que des ingénieurs biomédicaux : « **Ouais, je tout, il y a des médecins, des radiologues, des pharmaciens, il y a des sociétés extérieures qui en font partie. Moi, j'en fait partie aussi, des ingénieurs, c'est très divers.** »

Quant au contenu de la formation, les cours sont sous formes théoriques mais aussi des exercices pratiques sur la segmentation sur différents logiciels, l'impression et les imprimantes 3D : « **Y a de tout, des cours théoriques et des cours pratiques.** »

C'est assez mixte. Il y a des cours magistraux sur la qualité, sur de la segmentation, sur de l'imagerie, un petit peu d'anatomie. Et il y a de la pratique sur de la segmentation, sur tous types de logiciel, à la fois des logiciels libres d'accès et des logiciels marqués CE. Et il y a de la pratique un petit peu sur les impressions, les imprimantes 3D. Voilà donc c'est assez varié.

»

De plus, lors de cet entretien la mention du manipulateur du CHU de Brest a été faite. En effet, j'ai discuté de l'ambition de la création d'une formation sur l'impression 3D par Samuel Guigo, qui me disait qu'il voudrait peut-être ouvrir une formation de ce type dans les années à venir. Peut-être pas à l'école de manipulateur, parce que ça n'intéresserait pas tout le monde. Mais plutôt, faire un DU comme certains manipulateurs font le DU d'échographie.

5. Pourquoi ne pas avoir pris les manipulateurs présents en interne ?

Cette thématique explore les raisons pour lesquelles les manipulateurs déjà présents au sein du CHU n'ont pas été sollicités pour intégrer le processus d'impression 3D.

Les verbatims indiquent que les ingénieurs biomédicaux et les manipulateurs déjà présents dans le CHU, ont été sollicités pour intégrer la plateforme d'impression 3D. Cependant, comme le dit l'ingénieure biomédicale, ces professionnels étaient déjà très pris par leur charge de travail, ce qui ne leur permettait pas de pouvoir prendre le temps de gérer cette plateforme : « **Bah alors, ils ont demandé aux ingénieurs biomédicaux qui étaient déjà là en interne. Le problème c'est qu'ils sont trois pour gérer tout l'hôpital, tous les équipements biomédicaux de l'hôpital. Et pareil fin les manips, je pense qu'ils sont, ils ont assez de travaux pour leur métier. En fait, il n'y avait personne qui correspondait au profil en interne en tout cas. On ne s'est pas dit tient, les manips radio, ils vont gérer les imprimantes 3D.** » et « **Non c'était pas logique, il n'y avait pas de. Ils ont leur métier et je pense qu'ils ont déjà pas assez de temps. Déjà que les techniciens à qui on demande pour venir gérer la maintenance des imprimantes, ils nous disent : ah bah nous on est motivé mais en fait on a déjà beaucoup trop de travail, déjà les équipements quotidien, d'imagerie, de scanner, voilà fin tous**

les équipements biomédicaux dans un hôpital. Il y en a 6000 donc en fait c'était pas possible de trouver quelqu'un en interne. »

Il a donc été décidé de recruter une ingénieure biomédicale, une personne externe, qui possède les compétences nécessaires pour gérer une plateforme d'impression 3D : **« Ah oui, il y avait pas le choix de prendre quelqu'un, c'était obligatoire de trouver quelqu'un d'externe qui, y avait pas en tout cas la personne en interne. Pas une question de motivation mais plutôt de travail fin de temps et de compétences en interne qui ne collait pas avec le besoin quoi. »**

6. Le lien entre l'ingénieure et les manipulateurs :

Cette thématique explore la relation entre l'ingénieure biomédicale et les manipulateurs en électroradiologie médicales. Elle met en avant les collaborations entre ces deux corps de métier.

Les verbatims soulignent que les interactions entre l'ingénieure et les manipulateurs sont assez limitées au quotidien. Les prescriptions de scanner réalisées par les médecins et l'ingénieure, mentionnent parfois le besoin de scanner précis pour le processus d'impression 3D. Cependant, ces interactions se limitent à des prescriptions et ne permettent pas une collaboration profonde : **« Euh, en fait on a souvent fait ici les prescriptions quand il y a des modélisations 3D qui vont être faites, on a besoin de Scanner assez précis, des coupes infra millimétriques et donc ça c'est notifié sur les ordonnances de Scanner que font les manipulateurs aux patients. Donc généralement c'est notifié si besoin de Scanner infra millimétrique pour planification 3D. Voilà après, ils ne savent pas en détail ce qui est fait mais y'a juste ça. Donc voilà c'est vrai qu'on a pas l'occasion de se côtoyer au quotidien, on a pas les même quotidien. »**

Elle mentionne également que les occasions de se voir avec les manipulateurs sont assez rares en dehors de certaines demandes en neuroradiologie interventionnelle pour des modèles d'anévrismes : **« Euh très peu, je les vois un peu en neuroradiologie interventionnelle parce que c'est eux des fois qui font les demandes de modèles d'anévrismes. Mais oui très peu. Parce que finalement**

la radiologie, je récupère les données d'imagerie mais j'ai pas de relation avec les manipulateurs radio. »

7. La mise en place de cette plateforme :

Cette thématique examine les motivations et les origines qui ont fait que la plateforme d'impression 3D s'est mise en place dans le milieu hospitalier. Elle démontre le rôle des médecins en particulier des chirurgiens en maxillo-faciale dans l'initiative et le développement de cette technologie au sein du CHU.

Les verbatims soulignent que l'idée de la création de la plateforme d'impression 3D venait des médecins plus spécifiquement des chirurgiens en maxillo-faciale, qui depuis longtemps ont lancé l'impression 3D mais pas de manière adéquate et organisée. Il a donc fallu organiser tout cela et structurer une vraie plateforme d'impression 3D permettant ainsi l'élargissement de l'utilisation de cette technologie dans d'autres spécialités : **« Oui c'est les médecins, en fait ça été depuis longtemps les médecins, surtout en chirurgie maxillo-faciale avaient acheté une imprimante, qu'ils avaient dans leur bureau pour imprimer des crânes, pour anticiper les chirurgies et ça, ça fait très longtemps. ça fait plus de 10 ans je pense donc. Mais c'était pas cadré, c'était pas, il n'y avait rien tracé, c'était les internes ou le chirurgien lui-même qui faisait à ses heures perdues. Donc en fait, il y a eu un besoin de structurer un petit peu les choses et bah d'ouvrir à d'autres spécialités, c'était pas que, ils se sont rendu compte qu'il n' y a avait pas que la maxillo, qu'il y avait besoin d'impression et puis de planification. Donc ça vient bien des chirurgiens, des médecins de maxillo qui ont fait cette démarche et qui ont mis beaucoup d'investissement et de temps dans le projet. Et donc qui ont structuré un peu les choses au départ et qui ont monté cette plateforme. »** Cette initiative a été soutenue par les médecins et il faut en effet qu'elle vienne d'eux : **« Il faut que ça soit des demandes de médecins, des souhaits internes du CHU, par des médecins qui sont motivés et qui ont beaucoup de, qui s'investissent dedans quoi. »**

8. La légitimité :

Cette thématique explore la question essentielle de mon mémoire sur la légitimité des manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D.

Les verbatims indiquent qu'il n'existe pas actuellement de formation spécifique à l'impression 3D. Cependant, l'ingénieure reconnaît que tout professionnel peut accéder à cette technologie : « **Oui, après la légitimité fin pour l'instant il n'y a pas de formation dédiée à l'impression 3D en tant que telle, il y a quelques modules de formation dans certaines écoles mais il n'y a pas une formation spécifique à ça. Après je pense que tout le monde entre guillemets plus ou moins loin du domaine est légitime à travailler.** » Elle souligne que les manipulateurs sont tout autant légitimes que les ingénieurs et les techniciens, seulement pour cela il faut une formation et de l'expérience : « **Mais j'imagine que ce n'est pas très compliqué, voilà il faut de la formation et de l'expérience. Donc je pense que vous êtes aussi légitime que n'importe quel ingénieur ou technicien voilà.** » Elle répète dans ses propos le fait qu'elle ne voit pas d'inconvénients à intégrer les manipulateurs dans les plateformes d'impression 3D au vu de leur formation et leurs compétences qui les rendent tout aussi légitimes : « **Euh oui oui bien sur, ça me paraît pas complètement fou d'intégrer un manipulateur radio à une plateforme d'impression 3D, fin voilà c'est que, vu qu'il n'y a pas de formation spécifique pour l'instant chacun peut y accéder par ses compétences et son expérience, ses connaissances ...** »

De plus, lors de cet entretien, j'ai abordé l'exemple du cas concret au CHU de Brest avec le manipulateur qui a mis en place la plateforme. En effet, elle a bien spécifié la légitimité qu'il a de pouvoir faire de l'impression 3D : « **Ouais, bien sûr, donc voilà c'est qu'il est légitime.** »

5.3 Résultats de l'entretien avec le médecin

Tout comme pour l'entretien avec l'ingénieure biomédicale, je suis parti sur une approche qualitative. J'ai pour cela réalisé un entretien avec un médecin radiologue. Il m'a permis d'en savoir davantage sur l'étude réalisée au sein du CHU, la place des manipulateurs dans le processus d'impression 3D mais surtout le point de vue du médecin sur la question de la légitimité que pourraient avoir les manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D. L'objectif principal était donc de comprendre si les manipulateurs avaient une place au sein de cette technologie et comment celle-ci pourrait impacter leurs fonctions.

Après avoir retranscrit mon entretien (cf. **Annexe 9.8.**) j'ai pu analyser celui-ci à l'aide de la même méthode que l'entretien avec l'ingénieure c'est-à-dire grâce à des cartes mentales (cf. **Annexe 9.6.1. à 9.6.7.**). L'analyse des données recueillies a permis d'identifier les différentes thématiques apparentes de cet entretien, qui sont les suivantes : (1) la simulation, (2) l'impression 3D et la segmentation, (3) la place des manipulateurs dans le processus d'impression 3D, (4) l'évolution des fonctions des manipulateurs, (5) retour sur le cas concret du CHU de Brest, (6) la légitimité et enfin (7) la formation.

Je vais vous présenter ci-dessous les différentes thématiques que j'ai identifiées lors de ce second entretien.

1. La simulation :

La simulation est devenue un point essentiel avant la réalisation d'une quelconque intervention dans le milieu médical. Elle permet donc la formation mais aussi l'entraînement, que ce soit pour les plus jeunes mais aussi pour les plus experts sur des interventions complexes.

Le médecin a d'abord abordé l'intérêt pédagogique et l'intérêt de l'entraînement de la simulation, particulièrement pour former le personnel professionnel. Selon, le médecin, elle permet d'entraîner les plus jeunes avant d'intervenir sur de vrais

patients. Mais pas seulement, elle permet également aux médecins experts de s'entraîner sur des cas complexes : « **Et donc voilà on a co-développé avec eux les cartouches et puis après ce qu'on c'était dit qu'il y avait deux intérêts. Il y avait l'intérêt pédagogique c'est-à-dire j'entraîne des plus jeunes avant qu'ils aillent chez les patients, ça évite que sur les patients on s'entraîne quoi. Et puis il y avait ce qu'on appelle les cartouches spécifiques qui était plus là dans notre cas d'étude, c'est-à-dire c'est des anévrismes qui sont complexes, même pour nous expert entre guillemets et pour lequel on aurait voulu s'entraîner avant pour qu'au jour j de l'embolisation des patients soient au top et entraîner et qu'on est vu éventuellement diverse scénarios.** », « **Le simulateur, je vais le relancer, on va le réutiliser, on va former des internes du grand Ouest là-dessus. Il est possible que j'appelle Samuel pour former en décembre.** » et « **Euh c'est un très bon outil pédagogique, c'est un très bon outil pour les experts pour s'entraîner.**² »

La simulation contribue également à former les manipulateurs pour être aide opératoire en salle interventionnelle : « **En fait quand je dis éducatif c'est pas que pour les médecins, pour les étudiants manipulateurs, pour les aides opératoires.** » et « **Comme la fait Jean Christophe là il y a quinze jours où il a pris ses manips pour les entraîner sur le simulateur de Samuel.** »

2. L'impression 3D et la segmentation :

L'utilisation de l'impression 3D en neuroradiologie interventionnelle, commence toujours par une artériographie ou un angioscanner : « **On fait les angioscanner ici on le renvoie sur un serveur sécurisé machin. Ils nous répondent avec le modèle, qu'ils impriment sur mesure. Et après on ajuste.** » Concernant, toute la phase d'impression 3D elle était faite par la startup Biomodex. Seulement la phase de segmentation, était aussi faite par Biomodex mais une validation médicale était nécessaire avant l'impression : « **Exactement, c'est eux qui s'occupait de toute la partie impression. Alors on validait la segmentation quand même.** », « **On validait la segmentation, c'est-à-dire qu'on vérifiait que l'imagerie, le contournage des vaisseaux étaient respectés. Mais comme tout processus**

² Le texte en gras se réfère directement aux propos du médecin, propos retranscrits en l'état dans l'Annexe 9.8.

qu'on fait. », « En fait, elle était faite par la startup Biomodex. Il nous envoyait un rapport de segmentation. » et « Et on validait la segmentation, bon globalement on validait toujours, parce que c'était plutôt bien fait, l'algorithme était bien fichu. Comme on leur envoyait des angioscanner ou des artériographies surtout sur la partie intracrânienne ou il y a besoin d'une très bonne résolution spatiale et une très bonne discrimination entre les points euuh et bah ça du coup c'était comme il y avait beaucoup de différence sur le rapport signal sur bruit, ils étaient très bon sur la segmentation. Contraste versus du noir c'était très facile de découper quoi. Donc pour eux c'était plus facile. »

En effet, il y a cet enjeu de reproductibilité donc il faut être sûr de ce qui va être imprimé c'est pourquoi une vérification médicale est importante : « **On validait derrière parce que, il fallait bah il y avait un petit enjeu de reproductibilité. Je crois qu'on avait fait une pré étude, je sais plus si c'est dans ce papier là, en montrant le gap entre la réalité voilà le modèle obtenu en 3D avec des mesures ce qu'on appelait la métrologie était bien la même que l'artériographie. C'est ce qu'on a fait là c'est ce qu'on appelle la métrologie. Voilà on comparait les points sur un ensemble de point de la cartouche angiographique versus la réalité. Ça c'était...** »

J'ai pu questionner le médecin sur la possibilité que pourraient avoir les manipulateurs à réaliser eux-mêmes la segmentation, à laquelle il m'a répondu qu'il était favorable à cela tout en ayant fait avant de l'imagerie médicale : « Ayoub : **Mais vous, vous verrez par exemple les manip faire de la segmentation ou autre ?**

Médecin : **Oui oui, pleinement y a pas de fin, tu vois même Samuel je pense qu'il est autonome là dessus. C'est-à-dire qu'en plus comme il a un background de manip, il sait... Il faut que les manip commencent pas par être référent impression 3D.**

Ayoub : **Ah non ouais il faut qu'il y est une expérience quand même en tant que manip avec l'imagerie.**

Médecin : **Oui exactement !**

Il faut qu'il y est déjà une manipulation de l'imagerie pour pouvoir après être autonome sur bah juger de : est-ce que la segmentation elle est bien en fait ? Comment elle est faite ? Pourquoi ? Comment ? Ça ça joue quoi et c'est clair qu'il faut avoir vu des artérios pour pouvoir dire est-ce que je suis bien placé ? Comment je suis ? Tu vois ? »

Il a pu réitérer son avis avec « **Mais oui oui, ils ont toute leur place là-dedans c'est à mi-chemin entre le côté technique, critique vis à vis de la salle. »**

On a pu échanger sur leurs compétences qui peuvent être un plus pour pouvoir faire de la segmentation et être intégrés au processus d'impression 3D : « Ayoub : **Oui du coup comme ils ont cette connaissance là donc avec les compétences qu'ils ont dans l'imagerie ça les aide.**

Médecin : **Ça aide sur la partie segmentation, ça aide probablement sur la partie initiale de comment on en arrive là. »**

3. La place des manipulateurs dans le processus d'impression 3D :

Avec l'arrivée de cette technologie au sein de la neuroradiologie interventionnelle, les pratiques des manipulateurs sont amenées à évoluer, c'est ce que je vais aborder dans cette partie.

L'analyse de la place des manipulateurs dans cette partie fait l'objet de deux sous-parties. En effet on y retrouve la place qu'ont les manipulateurs dans l'utilisation du simulateur et du robot de cathétérisme : « **Bahh... Ma réponse elle est très claire, à la fois il y a une place quand on est au bloc pour surtout les manips, c'est-à-dire que nous il y a deux manips référents vis à vis du simulateur et du robot. »** Avec l'arrivée de la simulation et du robot de cathétérisme, les manipulateurs ont une place importante dans l'utilisation, la mise en place de cet appareil ainsi que leur capacité à savoir installer et désinstaller celui-ci ce qui permet de limiter le temps médical : « **Qui savent le monter, le démonter, l'entretenir. Le simulateur c'est bien mais ça prend du temps machine, ça prend du temps médical donc c'est pour ça de former des manips ça permet de limiter le temps médical. Euh c'est un très bon outil**

pédagogique, c'est un très bon outil pour les experts pour s'entraîner. Euh et la place du manipulateur est elle est évidente même pour l'entraînement des manipulateurs. »

Et la seconde sous-partie qui est beaucoup plus centrée sur la gestion des stocks, l'entretien et la maintenance du matériels nécessaire à l'impression 3D ; en effet il y a un gros travail là-dessus pour pouvoir constituer son propre arsenal nécessaire à l'utilisation de l'impression 3D : **« Mais oui oui ils ont toute leur place là dedans c'est à mi-chemin entre le côté technique, critique vis à vis de la salle et puis après il y a, parce qu'il y a une autre partie que Samuel fait peut être moins, qui est la manipulation des outils simulé quoi. », « Et tu vois c'est-à-dire que le fait d'entretenir le matériel, parce que tout ça ça nécessite en fait du temps ou de maintenance qui est assez lourd. Il faut rincer à l'eau chaude, il faut rincer avec un détergent puis re rincer à l'eau chaude. Il faut entretenir tout le matériel qu'on utilise dedans. En fait, nous on a eu des soucis, c'est ça, c'est que bah il fallait des devices, des dispositifs à mettre dans les anévrismes de toutes les tailles. Donc on avait demandé au labo de récupérer en France tout ce qui n'avait pas été largué pour pouvoir avoir un portfolio. En fait, il faut avoir un portfolio de matériels. Nous ça nous prends une armoire entière mais ça il faut bah l'entretenir, savoir ce qu'on a pour ne pas gâcher du matériel. Il faut récupérer en amont. » et « Ouais tout ce qui est périmé mais aussi que qui a été sorti mais non utilisé dans le patient. Et tout ça bah du coup il faut constituer un vrai portfolio quoi ça ça prend du temps et ça s'entretient. Donc il y a un travail de référencement de matos comme on peut en avoir sur ce qu'on appelle le manip circulant quoi. Non c'est un vrai taff. »**

4. L'évolution des fonctions des manipulateurs :

L'évolution des fonctions des manipulateurs est liée à l'utilisation de l'impression 3D et la robotique. Je vais voir ici, les nouvelles compétences et responsabilités des manipulateurs avec ces technologies.

L'évolution des fonctions des manipulateurs incluent de nouvelles compétences et manipulation de nouvelles technologies telles que l'impression 3D et la robotique.

Cela commence par la constitution d'un portfolio de matériels nécessaires à l'utilisation de l'impression 3D. Il faut donc des personnes pour constituer ce portfolio mais également l'entretenir, comme indiqué dans la partie ci-dessus.

Les manipulateurs vont être de plus en plus sollicités pour être formés à la simulation à l'aide de l'impression 3D : « **Ce qui est sûr c'est qu'on utilisera l'impression 3D pour la formation des manips en radiologie interventionnelle. Comme la fait Jean Christophe là il y a quinze jours où il a pris ses manips pour les entraîner sur le simulateur de Samuel. Ouais ça c'est sûr que ça participera au chapitre enseignement de l'impression 3D.** » De plus, l'intégration de l'impression 3D dans le programme de formation des manipulateurs permettra une nouvelle approche de l'apprentissage tant au niveau pratique que de la compréhension des procédures en radiologie interventionnelle : « **Encore une fois l'impression 3D c'est pas un but en soi mais c'est vraiment un nouveau vecteur d'apprentissage, c'est un atelier où tu mets les mains dedans, un atelier où t'apprends à manipuler. Voilà c'est des...ça permettra probablement aux manipulateurs de comprendre encore une fois les retours haptiques, comment on navigue, pourquoi ça peut prendre des heures à passer dans une artère.** »

Enfin, avec l'arrivée de l'impression 3D, pour les manipulateurs qui le souhaitent, ils peuvent devenir aide opératoire, ce qui permet de voir l'évolution de leurs compétences

« **C'est un autre métier dans lequel tu prends la compétence manip parce que tu as besoin au début, d'où viennent les images mais sinon. Et encore une fois je pense qu'il y a la partie manip du coup, on parle quasiment du poste de Samuel mais ce qui est bien aussi c'est que si tu as des manips qui sont aide opératoire avec des compétences sur la robotique ou ... On a développé un peu la robotique ou sur la simulation. Là il y a des manips qui sont qualifiés en hygiène, il y a des manips qui sont qualifiés en radioprotection, il y a des manips qui sont qualifiés en aide opératoire robotique, il y a des manips qui sont qualifiés en aide opératoire voilà ça c'est des trucs qu'il faut prendre quoi.** » Cette nouvelle technologie participe donc à la formation de ces

manipulateurs : « ... **c'est encore un vecteur pour entraîner les aides opératoires.** »

5. Retour sur le cas concret du CHU de Brest :

Lors de l'échange avec le médecin j'ai pu discuter du cas concret du CHU de Brest avec le manipulateur Samuel Guigo. Il a pu me faire part de son avis quant à ce cas concret illustrant la réussite de la mise en place de l'impression 3D à l'initiative du manipulateur.

Le CHU de Brest a choisi de s'autonomiser dans la mise en place et l'utilisation de l'impression 3D, cette autonomisation est une réussite et offre une indépendance à l'égard des startups comme le dit le médecin : « **Samuel, je pense que c'est l'exemple même de ce qu'il faut faire. La réussite du truc elle est brillante. Samuel il s'est autonomisé sur la startup WIN, ils ont commencé en neuro. Alors pour la petite histoire on leur a envoyé nos cartouches avant qu'ils aient commencé donc je pense que leur cartouches ressemblent beaucoup à ce qu'on a fait. En tout cas c'est très bien ils ont poussé plus loin le concept que nous, c'est-à-dire que nous on s'est rendu dépendant d'une startup alors que eux ils sont autonomes.** » et « **Et ça c'était probablement le bon choix de la part de Jean Christophe et de Samuel, c'était de dire et bah nous en fait à la brestoise comme d'habitude on va s'autonomiser. On est loin de tout donc on va le faire part nous même et donc du coup ils ont tu vois dans la pérennité nous Il se trouve que la startup Biomodex a coulé et du coup bah ça nous à mit un peu un coup de frein.** »

6. La légitimité :

La légitimité des manipulateurs dans le domaine de l'impression 3D est un sujet essentiel. En effet, cette notion interroge sur les compétences nécessaires pour pouvoir intégrer pleinement cette technologie. J'ai pu échanger sur cette question avec le médecin à laquelle il est favorable. En effet, pour lui, les manipulateurs sont tout à fait légitimes à intégrer l'impression 3D au sein de leurs pratiques. Cependant il souligne l'importance pour les manipulateurs d'acquérir une certaine expérience en

imagerie avant de faire de l'impression 3D : « **Oui bien sûr. Pas de doute la dessus. Encore une fois, modulo le fait qu'il faut avoir fait des heures de salle avant pour se jeter dedans.** » De plus cette légitimité repose aussi sur la compréhension de l'imagerie médicale : « **Voilà comprendre le truc, comprendre l'imagerie.** »

Cette légitimité repose, en effet, sur leurs compétences : « Ayoub : **En fait, il a déjà des compétences de tout ce qui est imagerie, post-traitement, reconstructions tout ça mais il lui manque quand même ce petit côté comme vous dites.**

Médecin : **Ah ah oui clairement.** »

7. La formation :

La formation des manipulateurs occupe une place importante dans l'intégration de l'impression 3D dans leur pratique.

Les verbatims que j'ai pu relever de l'entretien mettent en avant la formation nécessaire aux manipulateurs pour maîtriser cette technologie.

Les propos du médecin soulignent qu'hormis les compétences que possèdent déjà les manipulateurs, il leur manque néanmoins celles liées à l'impression 3D, en effet, ils doivent développer des compétences pour la gestion des différentes stratégies en impression 3D et l'utilisation des différents polymères : « **Parce que quand on discute avec les ingénieurs de Biomodex, il y a aussi un petit savoir-faire, par exemple dans la gestion des différentes stratégies. En fait, tu ne mets pas les mêmes polymères. Donc en fait, il faut ok parce que le manip sur la gestion segmentation, visualisation, utilisation du matériels mais il faut qu'il ait une plus value sur aussi et une connaissance de l'impression 3D quoi. Qu'est-ce qui le forme à l'impression 3D ?** », « **Ça aide sur la partie segmentation, ça aide probablement sur la partie initiale de comment on en arrive là. Après encore une fois je pense que, est-ce que ça les aide d'être manip quand tu dois choisir entre le polymère je sais pas parce que c'est pas vraiment un enseignement que tu retrouves à l'école. Donc je pense qu'il faut être manip en salle interventionnelle mais aussi...** » et selon ce qu'il ressort du verbatim, il faut non seulement se former mais aussi se tenir informé sur l'impression 3D : « **Ouais mais là, le truc faut que ça soit à niveau professionnel c'est-à-dire que**

les machines elles coûtent chères ils faut les faire tourner. Il faut qu'il ait les bons polymères. Est-ce que je suis au courant des derniers polymères qui sortent. Il faut se tenir à la page et tout. Donc c'est quand même un sacré boulot. Donc oui oui manip mais il faut se former du coup à ça quoi, à la partie impression quoi. »

J'ai pu échanger avec lui sur le type de formation à proposer pour les manipulateurs : « **DU c'est bien, y a des formats courts d'apprentissage. Maintenant il y a des alternances qui peuvent se rajouter en plus.** » et « **Ça, c'est des choses qui sont importantes. Il y a des bah il y a tant de formations accessibles en fait par les comptes de formations continues, la formation professionnelle, tout ça. Il y a des trucs je pense qu'on peut aller toper. Je veux dire...il y a bien des formations pour devenir manager ou cadre une fois que tu es manip donc. Il y a bien des formations pour prendre une corde à ton arc technique qui serait comment faire de l'impression 3D. ... Mais je n'ai pas connaissance moi de formation.** »

Cependant, il note que les formations spécifiques en impression 3D restent encore mal structurées : « **C'est pas encore bien structuré.** »

De plus, il a pu ajouter que la formation des manipulateurs est quelque chose de certain en radiologie interventionnelle pour la simulation avec l'impression 3D : « **Ce qui est sûr c'est qu'on utilisera l'impression 3D pour la formation des manips en radiologie interventionnelle. Comme la fait Jean Christophe là il y a quinze jours où il a pris ses manips pour les entraîner sur le simulateur de Samuel. Ouais ça c'est sûr que ça participera au chapitre enseignement de l'impression 3D.** »

Les résultats énoncés, je vais maintenant passer à la partie discussion où je vais les analyser et les discuter.

VI. Discussion

J'ai donc présenté dans la partie précédente les différentes données recueillies à partir des questionnaires et des deux entretiens réalisés. Je vais passer maintenant à l'analyse et à la discussion de celles-ci. Par la suite, j'aborderai les limites de mon étude.

Avant toute chose, revenons sur mon choix de méthodologie où j'ai choisi une méthode d'approche utilisant, d'une part, une démarche quantitative basée sur les questionnaires dans le but de recueillir des données concernant les manipulateurs afin de voir s'ils se sentent légitime. Et d'autre part, une démarche qualitative basée sur deux entretiens, l'un avec une ingénieure biomédicale et l'autre avec un médecin radiologue, toujours dans le même but, avoir leurs avis concernant la légitimité des manipulateurs à intégrer l'impression 3D dans leur pratique

Commençons par le questionnaire, pour lequel j'ai pu recueillir trois réponses au total. La totalité des répondants étaient des hommes, un ayant entre zéro et cinq ans d'expérience contre les deux autres avec plus de vingt ans d'expérience en tant que manipulateur. Tous exerçant dans différentes modalités allant de la radiologie conventionnelle, la radiologie interventionnelle, le scanner, l'IRM ou encore l'enseignement et la recherche.

Sur les trois répondants, seulement un seul est impliqué dans l'impression 3D et plus particulièrement dans l'acquisition des images.

Pour ce qui est du traitement des images avant impression 3D, je n'ai pu avoir qu'une seule réponse positive contre deux réponses, quant à la question suivante concernant le traitement d'images réalisé. Une personne qui évoquait la réalisation d'images IRM pour la fabrication de prothèses de genoux en 3D et une autre qui évoquait tous les traitements faits sur les images : segmentation, maillage, nettoyage et le slicing.

Tous les répondants ont répondu favorablement pour intégrer l'impression 3D dans leur pratique.

Les principales raisons motivant cet intérêt sont l'évolution des compétences des manipulateurs, un intérêt personnel et le développement des pratiques professionnelles.

Concernant les freins liés à cette intégration, on y retrouve le manque de formation, le manque de compétences, le manque de connaissances sur les compétences des manipulateurs, le choix volontaire que ce soit des médecins et des ingénieurs. Un des répondants a évoqué qu'il y avait déjà un manque de manipulateurs et qu'ils avaient beaucoup de travail.

Ensuite, ces deux mêmes répondants ont répondu favorablement pour l'intégration de l'impression 3D dans la formation des manipulateurs et que ce soit les manipulateurs qui fassent de l'impression 3D. L'autre personne a répondu qu'elle ne savait pas.

Viennent ensuite, les questions sur la question de la formation, tous les répondants sont d'accord pour recevoir une formation sur l'impression. Quant aux types de formation, ils optent pour un diplôme universitaire (DU), des pratiques avancées (Master), des formations dispensées par les médecins ou ingénieurs biomédicaux et des formations pratiques et courtes d'une semaine.

On arrive sur la thématique des compétences, premièrement celles qu'ils possèdent déjà pour pouvoir faire de l'impression :

- le post-traitement
- les reconstructions d'images
- l'acquisition des images
- les connaissances en imagerie médicale
- la segmentation
- la maîtrise des logiciels d'impression 3D
- la CAO (Conception Assistée par Ordinateur)

Et deuxièmement, les compétences qui leur manquent pour pouvoir intégrer l'impression 3D :

- la maîtrise des logiciels d'impressions 3D
- la maîtrise des logiciels de modélisation
- la segmentation
- l'utilisation des imprimantes 3D
- la CAO avancée

Enfin, sur la thématique de la légitimité, seul un des répondants a répondu favorablement à la question de la légitimité. Pour ce qui est des deux autres, ils ont répondu ne pas savoir s'ils étaient légitimes. Les motivations liées à cette légitimité sont les compétences déjà acquises par les manipulateurs (ils seraient donc les plus à même à intégrer cette technologie), l'autoformation et l'intérêt personnel.

Sur la dernière partie de mon questionnaire, j'ai laissé le libre choix aux répondants d'ajouter des commentaires supplémentaires ce à quoi j'ai pu avoir des retours critiques de mon questionnaire, comme par exemple le fait que je n'ai pas explicité le but de l'impression 3D, la limite du questionnaire quant aux traitements d'images. Un des répondants suggère qu'il aurait fallu aborder dans mon questionnaire le type d'impression 3D (FDM, SLA...), le choix des matériaux, la connaissance des matériaux et des performances d'impression 3D ou encore la CAO. Il a pu ajouter les atouts des manipulateurs pour l'impression 3D :

- leurs connaissances anatomiques en coupes (utile en segmentation) ;
- leurs connaissances sur les différents contrastes de l'imagerie (TDM et IRM) ;
- leurs connaissances des principes d'acquisition des images.

Étant donné le peu d'informations et de connaissances des manipulateurs concernant cette technologie, il m'a été difficile de récolter un nombre suffisant de réponses à mon questionnaire malgré le fait qu'il ait été envoyé aux dix-neuf CHU de France possédant tous l'impression 3D dans leurs locaux.

Au vu des réponses très limitées à mon questionnaire, les résultats présentés dans ce mémoire restent donc préliminaires, d'où une difficulté à tirer des conclusions

fermes à la suite de ce travail. Cependant, le peu de réponses obtenues pourrait aussi suggérer qu'à l'heure actuelle, les manipulateurs ne se sentent tout simplement pas légitimes à intégrer une plateforme d'impression 3D. On peut alors se demander quelles en sont les raisons.

De mon point de vue, et ceci transparaît au travers des réponses des manipulateurs, il y a de nos jours un réel manque de transfert d'information et de connaissances au sujet de l'impression 3D au sein des CHU, peut-être du fait que tous les CHU ne soient pas équipés de ce type de plateforme.

L'une des limites de mon questionnaire pourrait être de n'avoir pas pu l'envoyer aux manipulateurs travaillant dans un CHU ne possédant pas d'impression 3D ; en effet, ceci aurait pu permettre de conforter davantage ce manque de transfert d'information et de connaissances vers les manipulateurs. Cette technologie apparaît ainsi encore très peu connue de la part des équipes paramédicales. Dans ce contexte, il semble donc qu'il reste un réel travail de formation ou du moins d'information à faire sur cette technologie notamment auprès des manipulateurs en électroradiologie médicale.

Qu'en est-il de leur légitimité réelle à intégrer une plateforme d'impression 3D, au vu de leurs compétences déjà acquises ?

L'étude du décret de compétences des manipulateurs en électroradiologie, nous montre clairement les compétences qu'ils possèdent en termes d'acquisition des images dans différentes modalités. De plus, ils possèdent une connaissance pointue en termes d'imagerie médicale, d'anatomie, mais pas seulement ; tout au long de leur formation, ils acquièrent également des compétences liées aux traitements des images, l'utilisation de logiciels leur permettant de réaliser des reconstructions en fonction de la demande du médecin.

Le décret montre qu'ils sont familiers avec l'imagerie et tout ce qui est lié au post-traitement des images.

Toutes ces compétences leur procurent ainsi une certaine légitimité à intégrer les plateformes d'impression 3D.

L'analyse du décret de compétences vient par conséquent mettre en avant les compétences qu'ont déjà les manipulateurs en électroradiologie médicale et qui peuvent être utiles en impression 3D.

On peut alors se demander comment cette légitimité est perçue par les personnels de santé déjà en fonction sur ces plateformes.

Concernant l'entretien avec l'ingénieure, celui-ci a permis de recueillir des données sur plusieurs thématiques que je vais discuter dans cette partie.

En effet, bien que l'ingénieure n'ait pas forcément connaissance de la formation de manipulateurs en électroradiologie, elle reconnaît l'importance des compétences en imagerie et en anatomie qu'ils possèdent. Ces compétences constituent déjà une bonne base pour l'intégration des manipulateurs dans les plateformes d'impression 3D au sein des CHU qui utilisent cette technologie, et peuvent être particulièrement appuyées par des formations plus précisément centrées sur l'impression 3D.

Ce qui m'amène à évoquer les compétences nécessaires pour faire de l'impression 3D. Pour pouvoir pleinement intégrer les plateformes d'impression 3D, les manipulateurs doivent acquérir un nouvel ensemble de compétences spécifiques à l'impression 3D.

C'est pourquoi j'ai abordé avec elle la question de la formation. Ainsi, elle a pu me faire part des compétences qu'elle a acquises. Certaines de ces compétences sont communes à celles des manipulateurs ; en revanche, il y en a effectivement d'autres qu'ils n'ont pas en lien direct avec l'impression 3D, incluant la segmentation, l'impression et la modélisation.

À ce propos, elle a pu me faire part de l'existence d'un DU au sein du CHU de Besançon, permettant d'avoir une formation complète et accessible à tout type de profils. Son contenu propose à la fois de la théorie et de la pratique permettant de se familiariser au mieux avec l'impression 3D.

Quant au fait de ne pas avoir choisi les manipulateurs présents en interne, celui-ci repose notamment sur la charge de travail déjà réalisée par les manipulateurs et qui ne leur laisse pas de temps à consacrer à l'impression 3D. De plus, ils ne possèdent pas toutes les compétences nécessaires pour prendre en charge cette nouvelle mission, d'où, comme indiqué plus haut, la nécessité de se former. Leur capacité à

s'adapter et à acquérir de nouvelles compétences tout au long de leur carrière les rend ainsi tout aussi légitimes que d'autres professionnels dans ce domaine.

D'après l'ingénieure interviewée, les manipulateurs en électroradiologie médicale seraient donc tout à fait légitimes à intégrer une plateforme d'impression 3D en raison des compétences déjà acquises, de leur expérience et de leurs connaissances dans le domaine de l'imagerie médicale.

Néanmoins, cette thématique nécessiterait de la part de ces personnels de santé de suivre une formation à l'impression 3D pour pouvoir intégrer celle-ci dans leur pratique.

Comme décrit dans ce mémoire, l'impression 3D devient un nouveau secteur dans le milieu médical, et ce, comme j'ai pu le détailler dans la partie « Cadre conceptuel ». À travers l'entretien avec l'ingénieure, plusieurs points ont été abordés et qu'il est important de mettre en exergue.

Tout d'abord, les compétences des manipulateurs en électroradiologie sont malheureusement très méconnues, comme le montre cet entretien, et donc ne sont pas systématiquement intégrées dans le processus d'impression 3D. Toutefois, ces compétences, déjà acquises lors de leur formation en école de manipulateur en électroradiologie médicale, ne suffisent pas pour prétendre à intégrer l'impression 3D dans leur pratique. D'autres compétences sont essentielles, comme l'ingénieure a pu l'énoncer : la segmentation, la modélisation et toutes les compétences liées à l'impression 3D. Celles-ci complèteraient leur formation et leur permettraient de nouvelles opportunités d'implication dans le processus d'impression 3D.

Le Diplôme Universitaire d'impression 3D offre une formation complète et variée, accessible à tout type de profils. Son contenu expérimente à la fois la théorie et la pratique permettant de se familiariser au mieux avec l'impression 3D. Celui-ci offre donc une formation complète sur les aspects techniques et pratiques de cette technologie. De plus, ce diplôme universitaire renforcerait la légitimité que pourraient avoir les manipulateurs en électroradiologie médicale leur permettant ainsi une intégration plus efficace.

Enfin, analysons l'entretien avec le médecin. Lors de celui-ci, j'ai évoqué avec lui les différentes compétences techniques qui seraient à acquérir par les manipulateurs, à savoir la simulation et la segmentation, et ce, avant d'aborder la question de la légitimité. En effet, la simulation se montre comme un outil incontournable en radiologie interventionnelle où elle contribue à la formation et aux entraînements permettant aux professionnels de se former et de se performer sur leurs pratiques. Elle a donc un vrai intérêt au sein du domaine médical et est soutenue par le médecin.

J'ai ensuite discuté de la segmentation, qui est une étape cruciale dans le processus d'impression 3D ; de par leur expertise en imagerie médicale, les manipulateurs pourraient dans les années à venir collaborer avec les médecins sur cette partie, et ce, avant de réaliser l'impression 3D. Cette collaboration entre les médecins et les manipulateurs pour cette étape d'impression 3D pourrait constituer une nouvelle opportunité pour les manipulateurs afin d'acquérir de nouvelles compétences, en particulier sur la segmentation. Ils ont également une réelle place avec l'arrivée de cette technologie au sein des CHU ; en effet, ils pourraient jouer un rôle crucial dans la gestion du matériel, des dispositifs médicaux et l'utilisation du simulateur ainsi que du robot de cathétérisme que le médecin a pu évoquer.

L'évolution des fonctions des manipulateurs est une chose dont il faudrait tenir compte avec le plein essor de l'impression 3D ; d'où, la nécessité de développer de nouvelles compétences, comme on a pu le voir ici, avec l'arrivée de la simulation à partir de l'impression 3D en tant qu'aide opératoire.

La plateforme d'impression 3D au CHU de Brest nous montre la belle réussite du projet initié par un manipulateur. La réussite de cette plateforme appuie cette notion de légitimité que pourraient avoir les manipulateurs.

La légitimité est un point essentiel que je voulais mettre en avant dans ce mémoire. L'entretien avec le médecin indique que les manipulateurs seraient tout-à-fait légitimes à intégrer une plateforme d'impression 3D ; et ce, grâce à leur expérience en salle, à leur compréhension de l'imagerie ainsi que leurs compétences en post-traitement et en reconstructions. Cependant, cette légitimité n'est de nos jours pas complètement atteinte. En effet, pour que les manipulateurs soient pleinement légitimes il faut qu'ils acquièrent des compétences spécifiques à l'impression 3D.

Le médecin a lui aussi mentionné la formation des manipulateurs, cette fois-ci en radiologie interventionnelle avec l'utilisation de l'impression 3D, ce qui est essentielle pour intégrer pleinement les compétences nécessaires à cette technologie dans leur pratique. Elle nécessite une connaissance précise en termes de la gestion des stratégies d'impression, le choix des matériaux utilisés et toutes les notions liées à l'impression 3D. Malgré cela, les formations de ce type sont encore très limitées et très peu répandues.

Au total, les données recueillies dans ce travail ainsi que l'analyse du décret de compétences des manipulateurs, nous indiquent clairement que les manipulateurs seraient légitimes à intégrer l'impression 3D dans leur quotidien.

Cependant, cette légitimité reste à conforter, du fait de leur manque de compétences liées spécifiquement à l'impression 3D. C'est pourquoi il me semble indispensable que les manipulateurs soient formés dans ce domaine en pleine expansion, et ce, pour asseoir complètement cette légitimité avant d'avoir accès à l'impression 3D.

VII. Conclusion

Ce mémoire d'initiation à la recherche a donc débuté suite à une présentation au pôle de formation de Rennes sur l'impression 3D. J'ai, à la suite de cela, pu faire mes premières recherches sur cette technologie que je ne connaissais pas. J'ai pu dans un premier temps formuler une première question de recherche, mais qui finalement n'était pas pertinente à étudier. C'est à la suite de mon entretien exploratoire que m'est venue l'idée de ma deuxième question de recherche : **en quoi le manipulateur en électroradiologie médicale est-il légitime à intégrer les plateformes d'impression 3D ?** Pour répondre à cette problématique, j'ai opté pour une démarche à la fois quantitative et qualitative en réalisant un questionnaire et deux entretiens.

Cette démarche m'a donc permis de recueillir des données auprès de personnes différentes et de corps de métiers différents, et ce, afin de collecter plusieurs points de vue sur cette légitimité.

L'analyse de ces données et du décret a permis de mettre en avant les compétences actuelles des manipulateurs, ce qui leur procure d'ores et déjà une certaine légitimité pour être intégrés sur une plateforme d'impression 3D, mais dont ils n'ont pas forcément conscience du fait du manque d'information concernant cette nouvelle technologie. D'où l'importance de les informer sur l'utilité de celle-ci dans la pratique médicale et de leur donner accès à une formation ciblant l'impression 3D.

En effet, il est à noter que cette recherche a souligné l'intérêt que peuvent avoir les manipulateurs en électroradiologie médicale pour l'impression 3D. Cependant, ils reconnaissent qu'ils n'ont pas toutes les compétences et la formation spécifiques à cette technologie. Il est clair que dans les années à venir, il faudrait développer des formations dans ce domaine pour pallier ce manque et leur permettre d'intégrer pleinement cette technologie dans leur pratique professionnelle.

Les entretiens réalisés avec l'ingénieure biomédicale et le médecin radiologue confirment l'importance de la formation pour acquérir les compétences nécessaires à l'impression 3D. Ils soulignent également le rôle important que pourraient avoir les manipulateurs en termes de gestion des plateformes d'impression 3D au sein des

CHU, mais également dans la collaboration avec les médecins pour certaines étapes de l'impression 3D telles que par exemple la segmentation.

De plus, le diplôme universitaire, évoqué dans les deux entretiens, que pourraient suivre les manipulateurs, les aiderait à asseoir complètement cette légitimité.

Les nouvelles compétences qui seraient à acquérir par les manipulateurs, relèvent de la CAO, la segmentation, la modélisation, la connaissance des matériaux et des techniques et toutes celles liées à l'impression en elle-même.

Le cas concret du CHU de Brest illustre clairement la réussite de l'intégration de l'impression 3D au sein de ce CHU, et ce, à l'initiative d'un manipulateur. Cela confirme donc la légitimité que peuvent avoir d'ores et déjà les manipulateurs à intégrer l'impression 3D dans leur pratique, à condition qu'ils acquièrent les compétences nécessaires en suivant une formation pertinente. Ceci est en effet confirmé par ce cas concret qui m'a montré que le manipulateur du CHU de Brest fort de ses compétences de base, a tout de même dû se former à cette nouvelle technologie afin d'être plus familier avec celle-ci.

Au final, basé sur la recherche que j'ai menée, il m'apparaît qu'intégrer l'impression 3D au sein du domaine de compétences des manipulateurs en électroradiologie médicale serait quelque chose à envisager dans les années à venir, au vu des possibilités qu'offre cette nouvelle technologie dans le milieu médical.

VIII. Bibliographie

Articles – Ouvrages – Sites

Aniwaa. (2021, août 5). *Les technologies d'impression 3D - guide sur les différentes techniques.*

<https://www.aniwaa.com/fr/guide/imprimantes-3d/les-technologies-dimpression-3d/>

Aubert, N., Gruère, J., & Jabes, J. (2010). *Management : Aspects humains et organisationnels.*

Arrêté du 14 juin 2012 relatif au diplôme d'État de manipulateur d'électroradiologie médicale.

https://sante.gouv.fr/fichiers/bo/2012/12-06/ste_20120006_0100_0042.pdf

BBC News. (2012, 8 mars). Transplant jaw made by 3D printer claimed as first. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/technology-16907104>

Bernhard, J., Isotani, S., Matsugasumi, T., Duddalwar, V. A., Baco, E. A., Djaladat, H., Hung, A. M. R., Süer, E., Aron, M., Ukimura, O., & Gill, I. J. (2015). La modélisation patient-spécifique par impression 3D de reins tumoraux : un outil utile à l'éducation du patient. *Progrès En Urologie*, 25(13), 746.

<https://doi.org/10.1016/j.purol.2015.08.061>

Boterf, G. L. (s. d.). *Entretien avec Guy LE BOTERF.*

<https://www.magrh.reconquete-rh.org/index.php/articles/carrieres/76-leboterf>

Boterf, G. L. (1999). *L'ingénierie des compétences*. Editions d'Organisation.

Boterf, G. L. (2010). *Repenser la compétence : pour dépasser les idées reçues : quinze propositions*. Editions Eyrolles.

Bouquet, B. (2014). La complexité de la légitimité. *Vie Sociale*, n° 8(4), 13-23.

<https://doi.org/10.3917/vsoc.144.0011>

- Bras, A. L., Boustia, F., Janot, K., Lepabic, E., Ouvrard, M., Fougerou-Leurent, C., Ferré, J., Gauvrit, J., & Eugène, F. (2023). Rehearsals using patient-specific 3D-printed aneurysm models for simulation of endovascular embolization of complex intracranial aneurysms : 3D SIM study. *Journal Of Neuroradiology*, 50(1), 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.neurad.2021.11.008>
- Carmel. (2022, 31 mars). *Qu'est-ce qu'un fichier STL ?* Sculpteo. <https://www.sculpteo.com/fr/centre-apprentissage/creer-un-fichier-3d/quest-ce-quun-fichier-stl/>
- Chang, J. W., Park, S. A., Park, J., Choi, J. W., Kim, Y., Shin, Y. S., & Kim, C. (2014). Tissue-Engineered tracheal reconstruction using Three-Dimensionally Printed artificial tracheal graft : preliminary report. *Artificial Organs*, 38(6). <https://doi.org/10.1111/aor.12310>
- compétence - Définitions, synonymes, prononciation, exemples | Dico en ligne Le Robert.* (s. d.). <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/competence>
- Contributeurs aux projets Wikimedia. (2024a, mars 21). *Segmentation d'image*. https://fr.wikipedia.org/wiki/Segmentation_d%27image
- Contributeurs aux projets Wikimedia. (2024b, mars 23). *Photopolymère*. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Photopolym%C3%A8re>
- Contributeurs aux projets Wikimedia. (2024c, mars 26). *Impression 3D*. https://fr.wikipedia.org/wiki/Impression_3D
- CT and 3-D printing aid surgical separation of conjoined twins.* (2015, 15 décembre). ScienceDaily. <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/12/151202084228.htm>

- Denimal, T. (2023, 15 février). *La technologie PolyJet de Stratasys : Procédé, avantages, limites et applications*. Cylaos Industrie.
<https://cylaos.fr/technologie-dimpression-3d-polyjet-comment-ca-marche>
- Dodziuk H. (2016). Applications of 3D printing in healthcare. *Kardiochirurgia i torakochirurgia polska = Polish journal of cardio-thoracic surgery*, 13(3), 283–293. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5071603/#CIT0078>
- Dolatkhani, D. (2022, 6 octobre). *Qu'est-ce qu'un polymère ?* PolymerExpert.
[https://polymerexpert.fr/polymere-definition/#:~:text=Un%20polym%C3%A8re%20est%20une%20macromol%C3%A9cule,le%20collier%20\(le%20polym%C3%A8re\)](https://polymerexpert.fr/polymere-definition/#:~:text=Un%20polym%C3%A8re%20est%20une%20macromol%C3%A9cule,le%20collier%20(le%20polym%C3%A8re))
- Duncan, J., Nahas, S., Akhtar, K., & Daurka, J. (2015). The Use of a 3D Printer in Pre-operative Planning for a Patient Requiring Acetabular Reconstructive Surgery. *PubMed*, 5(1), 23-25. <https://doi.org/10.13107/jocr.2250-0685.247>
- Ferro, S. (2013, 9 mars). *3-D-Printed Implant Replaces 75 Percent Of Man's Skull*. Popular Science.
<https://www.popsci.com/science/article/2013-03/get-brand-new-skull-3-d-printing/>
- Gaget, L. (2022, 20 avril). *Qu'est-ce que l'impression 3D*. Sculpteo.
<https://www.sculpteo.com/fr/centre-apprentissage/les-bases-impression-3d/qu'est-ce-que-impression-3d/>
- Goehrke, S., & Goehrke, S. (2021, 17 octobre). *Made in Gaza : Glia Project Offers Open Source, Low-Cost, Locally 3D Printed Medical Supplies*. 3DPrint.com | The Voice Of 3D Printing / Additive Manufacturing.
<https://3dprint.com/95097/project-glia-gaza-strip/>

Guide de l'impression 3D de dispositifs médicaux : du prototypage à la commercialisation. (s. d.). Formlabs.

<https://formlabs.com/fr/blog/impression-3d-dispositifs-medicaux/>

Hipolite, W., & Hipolite, W. (2021, 19 octobre). *3D Printing Saves a Woman's Kidney : Surgeons perform impressive renal tumor surgery.* 3DPrint.com | The Voice Of 3D Printing / Additive Manufacturing.

<https://3dprint.com/67530/3d-printed-kidney-tumor/>

Huberty, L. (2022, 29 septembre). *Compétence et évaluation des compétences - LHRH Conseil.* LHRH Conseil.

<https://huberty-rh.fr/flash-rh/competence-et-evaluation-des-competences/>

Impression 3D - Son histoire. (2017, 3 juillet). FABULOUS.

<https://www.fabulous.com.co/guide-impression-3d/en-bref/histoire/>

Impression 3D | Logiciel imprimante 3D | AutoDesk. (s. d.).

<https://www.autodesk.fr/solutions/3d-printing>

Impression 3D (CHU) - Laboratoire de nanomédecine, imagerie, thérapeutique EA4662. (s. d.). <https://init.fr/impression-3d-chu>

Impression 3D FDM - Fused Deposition Modeling. (s. d.).

<https://www.stratasys.com/fr/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-technology/>

Jacquet, R. (2014, 31 octobre). *Quels sont les matériaux utilisés en impression 3D ?* Les Numériques.

<https://www.lesnumeriques.com/imprimante-3d/quels-sont-materiaux-utilises-en-impression-3d-a1884.html>

légitimité - Définitions, synonymes, prononciation, exemples | Dico en ligne Le Robert. (s. d.). <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/legitimite>

- MakerShop. (2018, 26 décembre). *FDM et SLA : quelle technologie pour quelle application ? - Makershop*. Makershop.
<https://www.makershop.fr/blog/difference-fdm-depot-filament-sla-stereolithographie-quelle-technologie-pour-quelle-application-2/>
- Malik, H. H., Darwood, A., Shaunak, S., Kulatilake, P., El-Hilly, A., Mulki, O., & Baskaradas, A. (2015). Three-dimensional printing in surgery : a review of current surgical applications. ~ *The Journal Of Surgical Research/Journal Of Surgical Research*, 199(2), 512-522. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.06.051>
- Manipulateur(trice) en électroradiologie médicale (MERM) – Ministère du travail, de la santé et des solidarités*. (2022, 27 octobre). Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités.
[https://sante.gouv.fr/metiers-et-concours/les-metiers-de-la-sante/le-repertoire-des-metiers-de-la-sante-et-de-l-autonomie-fonction-publique/soins/sousfamille/soins-medico-techniques/metier/manipulateur-trice-en-electro-radiologie-med](https://sante.gouv.fr/metiers-et-concours/les-metiers-de-la-sante/le-repertoire-des-metiers-de-la-sante-et-de-l-autonomie-fonction-publique/soins/sousfamille/soins-medico-techniques/metier/manipulateur-trice-en-electro-radiologie-medicale-merm)
[icale-merm](https://sante.gouv.fr/metiers-et-concours/les-metiers-de-la-sante/le-repertoire-des-metiers-de-la-sante-et-de-l-autonomie-fonction-publique/soins/sousfamille/soins-medico-techniques/metier/manipulateur-trice-en-electro-radiologie-medicale-merm)
- Marciuc, E. A., Dobrovat, B. I., Popescu, R. M., Dobrin, N., Chiriac, A., Marciuc, D., Eva, L., & Haba, D. (2021). 3D Printed Models-A Useful Tool in Endovascular Treatment of Intracranial Aneurysms. *Brain sciences*, 11(5), 598.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8148564/>
- Modèles anatomiques 3D, Corps Humain | BONE 3D*. (s. d.). Bone 3D.
<https://bone3d.com/modeles-anatomiques/>
- O'Neal, B., & O'Neal, B. (2021, 18 octobre). *Japan's Fasotec Creates Realistic 3D Printed & # 8216 ; Biotexture Wet Models& # 8217 ; for Surgical Training*. 3DPrint.com | The Voice Of 3D Printing / Additive Manufacturing.
<https://3dprint.com/49992/fasotec-3d-print-wet-model/>

Pearson, E. (2016, 7 mars). *Conjoined twins separated in ground breaking operation using a 3D printer*. The Mirror.

<https://www.mirror.co.uk/news/world-news/conjoined-twins-separated-ground-breaking-7509052>

Philippine. (2024, 23 janvier). *L'impression 3d dans le domaine médical : Une révolution !* — La Nouvelle École. La Nouvelle École.

<https://www.nouvelleecole.fr/blog/limpression-3d-le-domaine-medical>

Pierreville, J., Serrano, C., Van Den Brink, H., Prognon, P., Pineau, J., & Martelli, N. (2018). Dispositifs médicaux et modèles anatomiques produits par impression 3D : quelle diffusion et quelles utilisations dans les établissements de santé français ? *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 76(2), 139-146.

<https://doi.org/10.1016/j.pharma.2017.12.001>

Polyjet : aperçu d'une technologie d'impression 3D | Xometry Pro. (2023, 20 décembre). Xometry Pro.

<https://xometry.pro/fr/articles/impression-3d-polyjet-technologie/>

Rédaction, L. (s. d.). *Impression 3D : qu'est-ce que c'est ?* Futura.

<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/imprimante-3d-impression-3d-15137/#limpression-3d-cest-quoi->

Stéréolithographie impression 3D. (s. d.).

<https://www.proform.ch/fr/procedes/impression-3d/stereolithographie>

Stratasys

<https://www.stratasys.com/fr/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-tec>

Talbi, I. (2022, 2 juin). *Qu'est-ce que la segmentation d'images ?* La Revue IA. <https://larevueia.fr/quest-ce-que-la-segmentation-dimages/>

Technologie d'impression 3D PolyJet | Stratasys. (s. d.).

<https://www.stratasys.com/fr/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/polyjet-technology/>

Wang, S., Huang, Q., Yuan, J., Zhang, H., Yang, N., & Pang, Z. (2023). Application of 3D Printing in Individualized Treatment of Intracranial Aneurysms. *Annals of Indian Academy of Neurology*, 26(1), 81–84.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10081545/>

Wittorski, R. (1998, 17 septembre). *De la fabrication des compétences*.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00172696>

World first 3D printing used in life-changing kidney transplant. (2024, 28 mars).

Guy's And St Thomas' NHS Foundation Trust.

<https://www.guysandstthomas.nhs.uk/news/world-first-3d-printing-used-life-changing-kidney-transplant>

IX. Annexe

9.1. Décret de compétences des manipulateurs en électroradiologie

Décret n° 2016-1672 du 5 décembre 2016 relatif aux actes et activités réalisés par les manipulateurs d'électroradiologie médicale

9.2. Le questionnaire diffusé

Partie 1 : Informations personnelles

1.1. De quel sexe êtes-vous ?

- ☐ Homme
- ☐ Femme
- ☐ Je ne souhaite pas le préciser

1.2. Depuis combien de temps exercez-vous en tant que manipulateur ?

- ☐ 0 - 5 ans
- ☐ 5 - 10 ans
- ☐ 10 - 15 ans
- ☐ 15 - 20 ans
- ☐ Plus de 20 ans

1.3. Dans quelle modalité exercez-vous ?

- ☐ Scanner
- ☐ IRM
- ☐ Radiologie conventionnelle
- ☐ Radiologie interventionnelle
- ☐ Médecine nucléaire
- ☐ Radiothérapie
- ☐ Autres : précisez _____

Partie 2 : Utilisation de l'impression 3D dans le milieu hospitalier

2.1. En tant que manipulateur en électroradiologie médicale, êtes-vous directement impliqué au sein de votre activité dans l'utilisation de l'impression 3D dans votre centre ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

2.2. Si oui, précisez dans quelle(s) partie(s) de l'impression 3D vous êtes impliqué.

- ☐ Acquisitions des images
- ☐ Traitements des images
- ☐ Les reconstructions
- ☐ La segmentation
- ☐ L'impression des modèles anatomiques
- ☐ La modélisation
- ☐ La planification chirurgicale
- ☐ Autre : précisez _____

2.3. Y a t il un traitement particulier que vous appliquez aux images avant une impression 3D ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

2.4. Si oui, précisez le/lesquels : _____

Partie 3 : Intérêt pour l'impression 3D

3.1. En tant que manipulateur en électroradiologie médicale, êtes-vous intéressé pour intégrer l'impression 3D dans votre pratique ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

3.2. Si oui, quelles seraient, selon vous, les principales raisons motivant cet intérêt ? Cochez une ou plusieurs réponses possibles :

- ☐ Evolution des compétences
- ☐ Intérêt personnel
- ☐ Contraintes suite à l'évolution de la technologie (impression 3D)
- ☐ Délégation de tâches des ingénieurs biomédicaux/médecins
- ☐ Développement des pratiques professionnelles
- ☐ Autres (précisez) _____

3.3. D'après-vous, quels sont les freins au fait que ça soit le manipulateur qui fasse le traitement des images et la continuité du processus d'impression 3D ?

- ☐ Manque de formation
- ☐ Manque de compétences
- ☐ Manque de connaissances sur les compétences des manipulateurs
- ☐ Choix volontaire que ça soit des médecins et ingénieurs biomédicaux
- ☐ Je ne sais pas
- ☐ Autres (précisez) _____

3.4. Pensez-vous que l'impression 3D devrait être intégrée de manière plus étendue dans la formation de manipulateur en électroradiologie médicale à l'avenir ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

3.5. Pensez- vous que ça doit être aux manipulateurs de faire de l'impression 3D ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

Partie 4 : Formations et Compétences :

4.1. Aimerez-vous recevoir une formation spécifique sur l'utilisation de l'impression 3D ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

4.2. Si oui, quels types de formations vous intéressent le plus ?

- ☐ DU
- ☐ Pratique avancées (Master)
- ☐ Formation dispensée par un médecin ou un ingénieur biomédicale
- ☐ Autres : précisez _____

4.3. Quelles compétences avez-vous déjà qui vous permettent de faire de l'impression 3D ?

- ☐ Les connaissances en imagerie médicale
- ☐ La segmentation
- ☐ Les reconstructions
- ☐ La maîtrise des logiciels de modélisation
- ☐ Autres (précisez) _____

4.4. Quelles sont les compétences qu'il vous manque pour faire de l'impression 3D ?

- ☐ La maîtrise des logiciels de modélisation 3D
- ☐ Le post traitements des images
- ☐ La segmentation
- ☐ Les reconstructions
- ☐ Autres (précisez) _____

Partie 5 : Perspectives sur la légitimité :

Le manipulateur possède de multiples compétences telles que : l'acquisition des images, l'anatomie en coupe, le traitement des images ainsi que les reconstructions. Avec une formation annexe, il peut avoir des compétences en segmentation d'image, qui est une étape importante en impression 3D. La segmentation d'image est une opération de traitement d'images consistant à détecter et rassembler les pixels suivant des critères, notamment d'intensité ou spatiaux, l'image apparaissant ainsi formée de régions uniformes.

5.1. Au vu des compétences que possèdent les manipulateurs à l'issue de leur formation, pensez-vous donc qu'ils sont légitime à l'intégration aux seins des plateformes d'impression 3D pour faire de la segmentation, du traitement des images et le paramétrage des imprimantes ?

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas

5.2. Pouvez-vous expliquer pourquoi vous vous sentez légitime ou non à cette intégration ?

Précisez _____

Partie 6 : Commentaires supplémentaires :

6.1. Avez-vous des commentaires ou des observations supplémentaires à partager concernant l'utilisation de l'impression 3D dans votre centre ?

Précisez _____

9.3. Le guide d'entretien ingénieure

Présentation :

Bonjour, je m'appelle El Mourabit Ayoub, je suis en troisième année à l'école de manipulateur au CHU de Rennes. Suite à une présentation d'un manipulateur sur l'impression 3D, qui m'a beaucoup plu, j'ai décidé de faire mon choix de mémoire sur cette technologie. Le thème de mon mémoire est la légitimité que pourraient avoir les manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D. Je vais donc vous poser quelques questions. Pour ce qui est de l'accord pour l'enregistrement de la discussion, j'ai oublié de le préciser lors de l'entretien, mais il m'a été donné après par mail, tout en précisant l'aspect anonyme de celui-ci et qu'il ne servirait que pour mon analyse dans le cadre de mon mémoire.

Objectifs de l'entretien :

- comprendre comment se met en place une plateforme d'impression 3D
- comprendre qu'est-ce que fait réellement un ingénieur biomédical en impression 3D
- comprendre l'activité au sein d'une plateforme d'impression 3D
- avoir l'avis d'une ingénieure sur la légitimité des manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D

Objectifs	Questions liées
Comprendre ce qui se fait au sein d'une plateforme d'impression 3D ainsi que ce que fait l'ingénieure	- Pouvez-vous décrire votre rôle/vos missions en tant qu'ingénieur en charge de la plateforme d'impression 3D ? → Le lien entre traitement des images Irm/ Scanner de l'acquisition des images patients jusqu'à l'impression
Voir si les manipulateurs sont déjà intégrés dans le	- Travaillez-vous de près ou de loin avec les manipulateurs ?

processus d'impression 3D ou non.	→ Si oui, dans quelles mesures ? Si non, les équipes d'impression sont-elles en lien ? (chirurgiens, radiologues, constructeurs, d'autres maillons de la chaîne...)
Déterminer si les compétences des manipulateurs sont transposables et peuvent être utile en impression 3D	- Pouvez-vous identifier des compétences que les manipulateurs possèdent et qui seraient intéressantes pour l'utilisation de l'impression 3D ? → Attentes : anatomie en coupe, acquisition des images et les reconstructions.
Voir les aspects positifs et négatifs d'une potentiel intégration du point de vue de l'ingénieur.	- Quels sont, selon vous, les avantages et les inconvénients potentiels de l'intégration des manips au sein des équipes gérant les plateformes d'impression 3D ? → Attentes : connaissances de l'anatomie en coupe, meilleure acquisition pour l'impression 3D et connaissance de l'imagerie médicale.
Voir l'attente que pourrait avoir les médecins et les ingénieurs, s'il y aurait une potentielle intégration des manipulateurs.	- Quel serait le rôle des manipulateurs, s'ils intègrent les plateformes d'impression 3D ? → Relance : traitement des images, modélisation ? De l'acquisition de l'image patient jusqu'à l'impression.
Avoir l'avis de l'ingénieure sur la légitimité concernant les manipulateurs.	- Pensez-vous que les manipulateurs sont légitimes à l'intégration dans les plateformes d'impression 3D ? → Relance : Pourquoi ? Compétences ? Formations ? Limites ? La responsabilité ?

Savoir s'il y a des manipulateurs potentiellement intéressés par l'impression 3D.	- Avez-vous déjà eu des retours de manips qui seraient intéressés par l'intégration des plateformes d'impression 3D ?
--	---

9.4. Le guide d'entretien médecin

Présentation :

Bonjour, je m'appelle El Mourabit Ayoub, je suis en troisième année à l'école de manipulateur au CHU de Rennes. Suite à une présentation d'un manipulateur sur l'impression 3D, qui m'a beaucoup plu, j'ai décidé de faire mon choix de mémoire sur cette technologie. Le thème de mon mémoire porte sur la légitimité et le rôle que pourraient avoir les manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D. Je vais donc vous poser quelques questions. Concernant cet entretien, est-ce que vous êtes d'accord pour qu'il soit enregistré ? Il sera utilisé seulement dans le cadre de mon mémoire et de manière anonyme. Je me permets donc de vous entretenir, à la suite de la lecture de votre article sur l'étude que vous avez réalisé sur les embolisations des anévrismes complexes avec l'aide de l'impression 3D. (étude SIM 3D)

Objectifs :

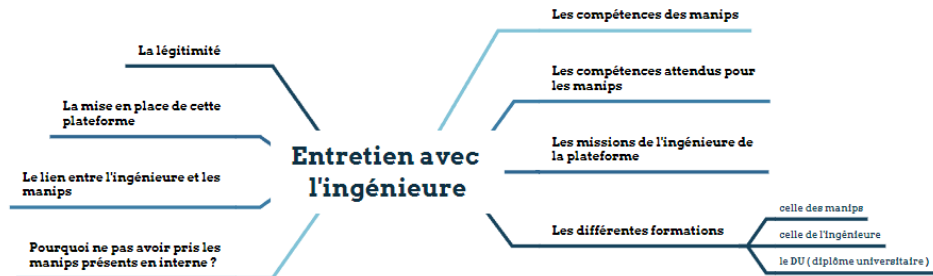
- revenir sur l'article étudié
- la place des manipulateurs et la question de leur légitimité

Guide d'entretien :

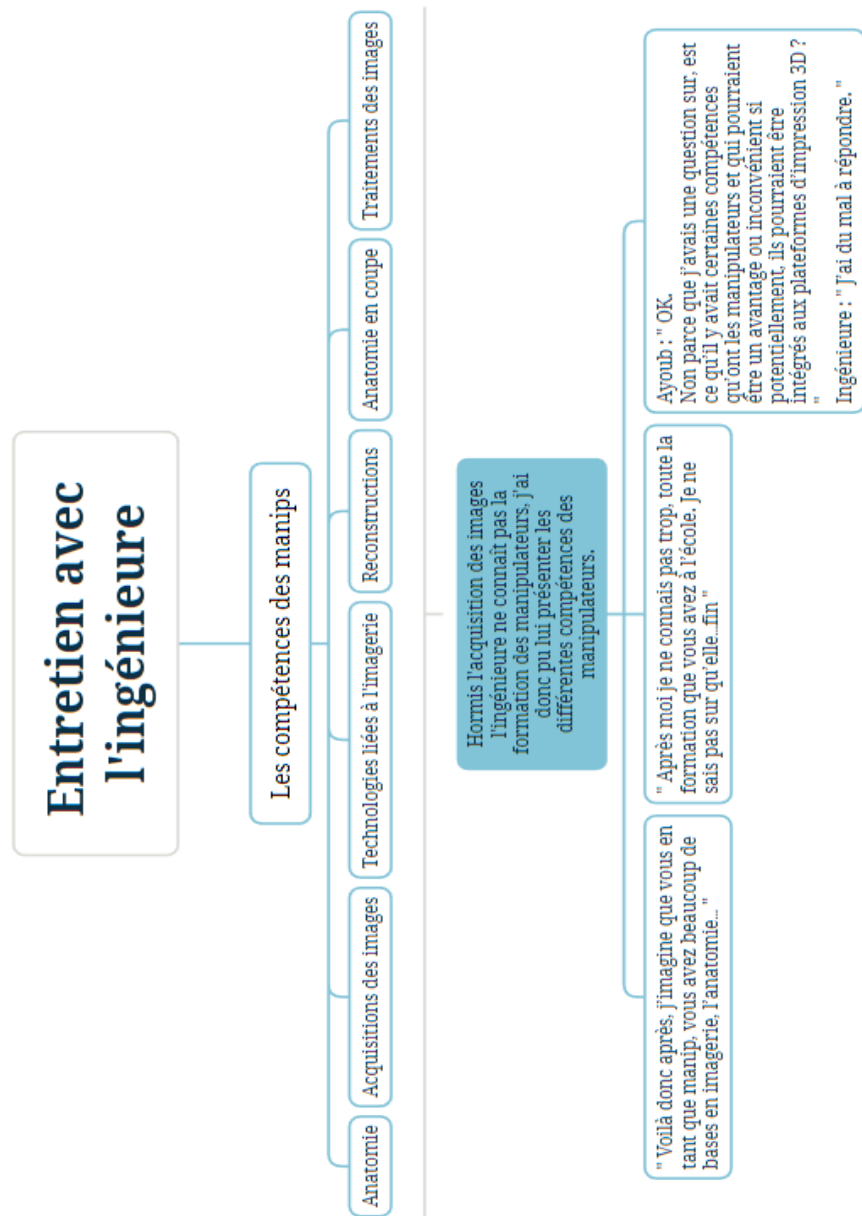
- Comment en êtes-vous arrivé à utiliser l'impression 3D en radiologie interventionnelle ?
- Pensez-vous que les manipulateurs sont légitime à l'intégration aux seins des plateformes d'impression 3D ? Et pourquoi ?
- Voyez-vous un rôle et un intérêt à voir les manipulateurs dans le processus d'impression 3D plutôt que d'autres professionnels ?
- Comment voyez-vous l'évolution des fonctions des manipulateurs avec l'intégration de l'impression 3D dans les CHU ? Et vers quelle type d'évolution ?

- Cependant, il faut qu'ils se forment à certaines compétences liées à l'impression 3D, quels types de formations pourraient être proposées aux manipulateurs ?
- Pensez-vous que l'impression 3D devrait être intégrée de manière plus étendue dans la formation de manipulateur en électroradiologie médicale à l'avenir ?
- Avez-vous des choses à ajouter ou d'autres commentaires à faire ?

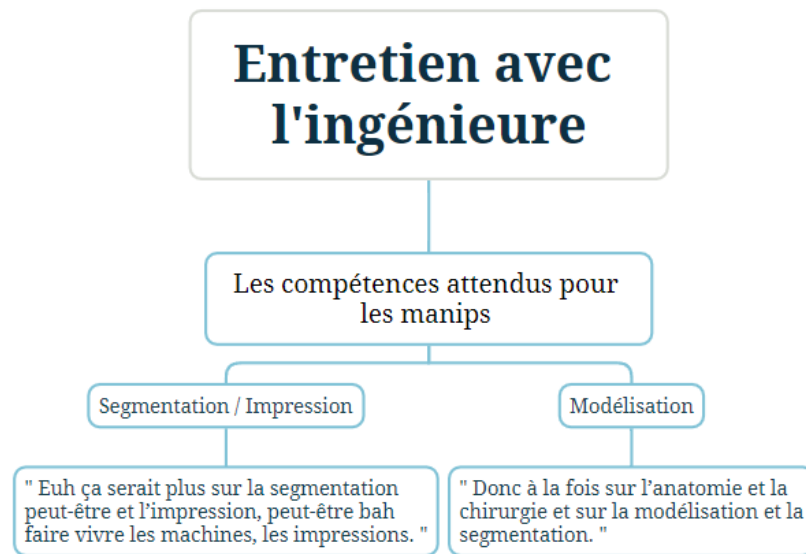
9.5. Arborescence des thématiques de l'entretien avec l'ingénieure



9.5.1. Les compétences des manipulateurs



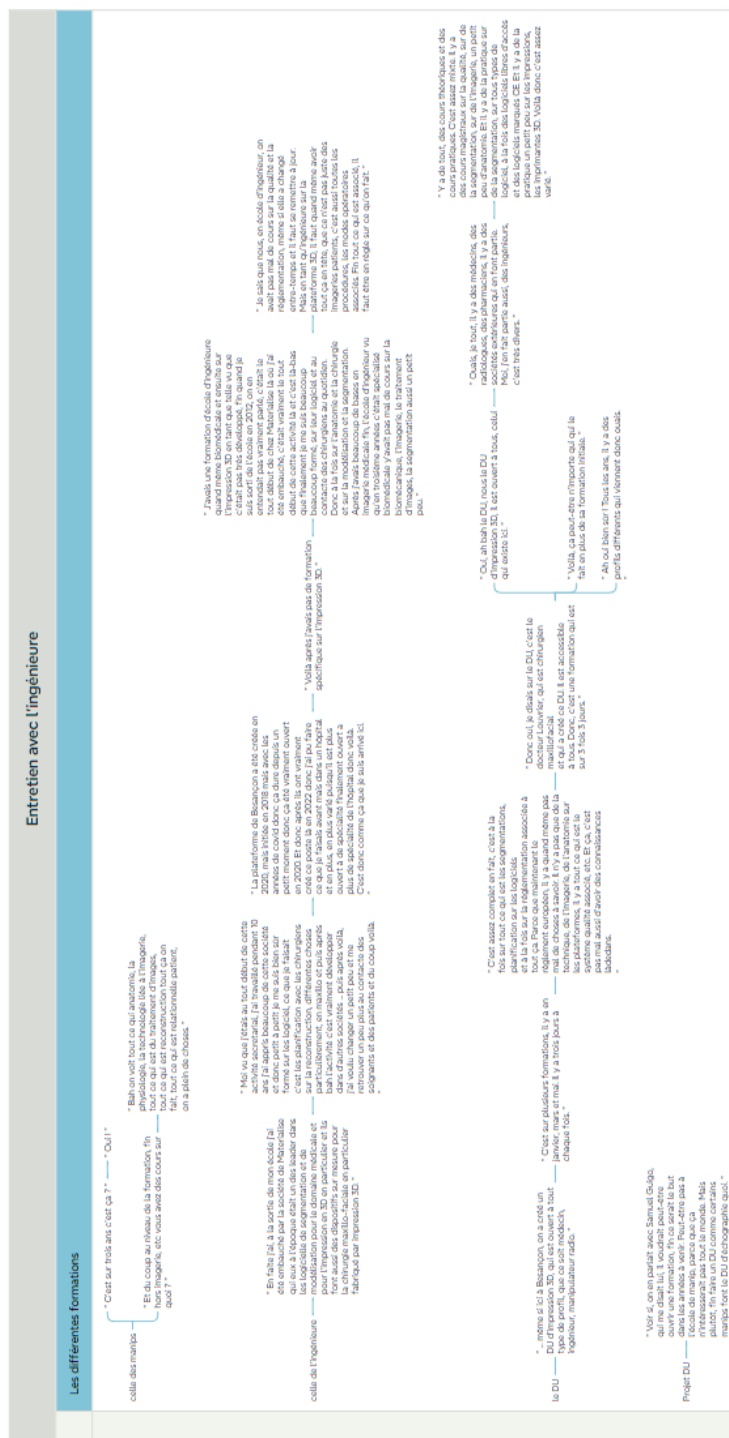
9.5.2. Les compétences attendues pour les manipulateurs



9.5.3. Les missions de l'ingénieure biomédicale



9.5.4. Les différentes formations



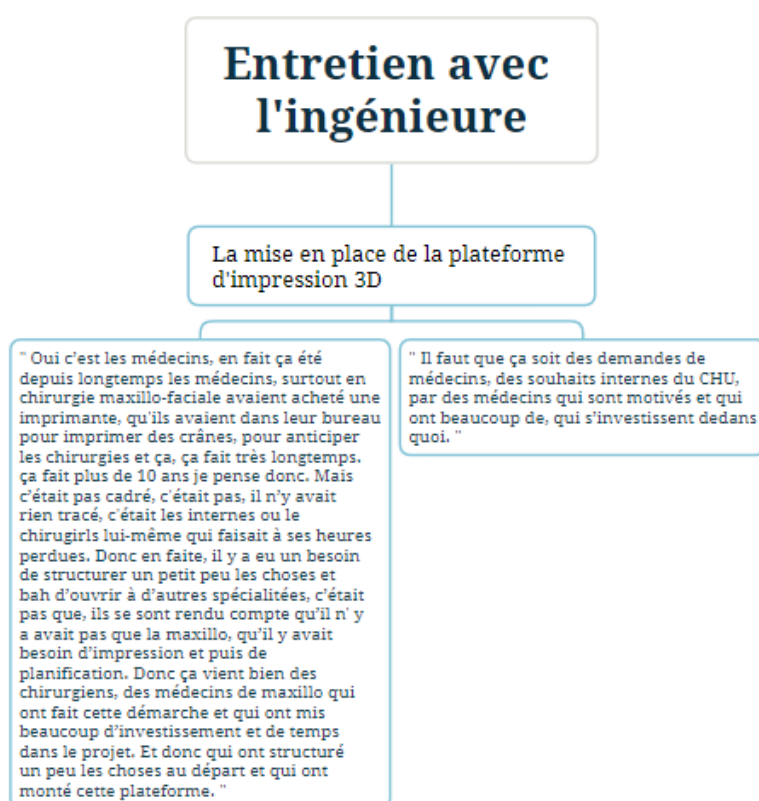
9.5.5. Pourquoi ne pas avoir pris les manipulateurs présents en interne ?



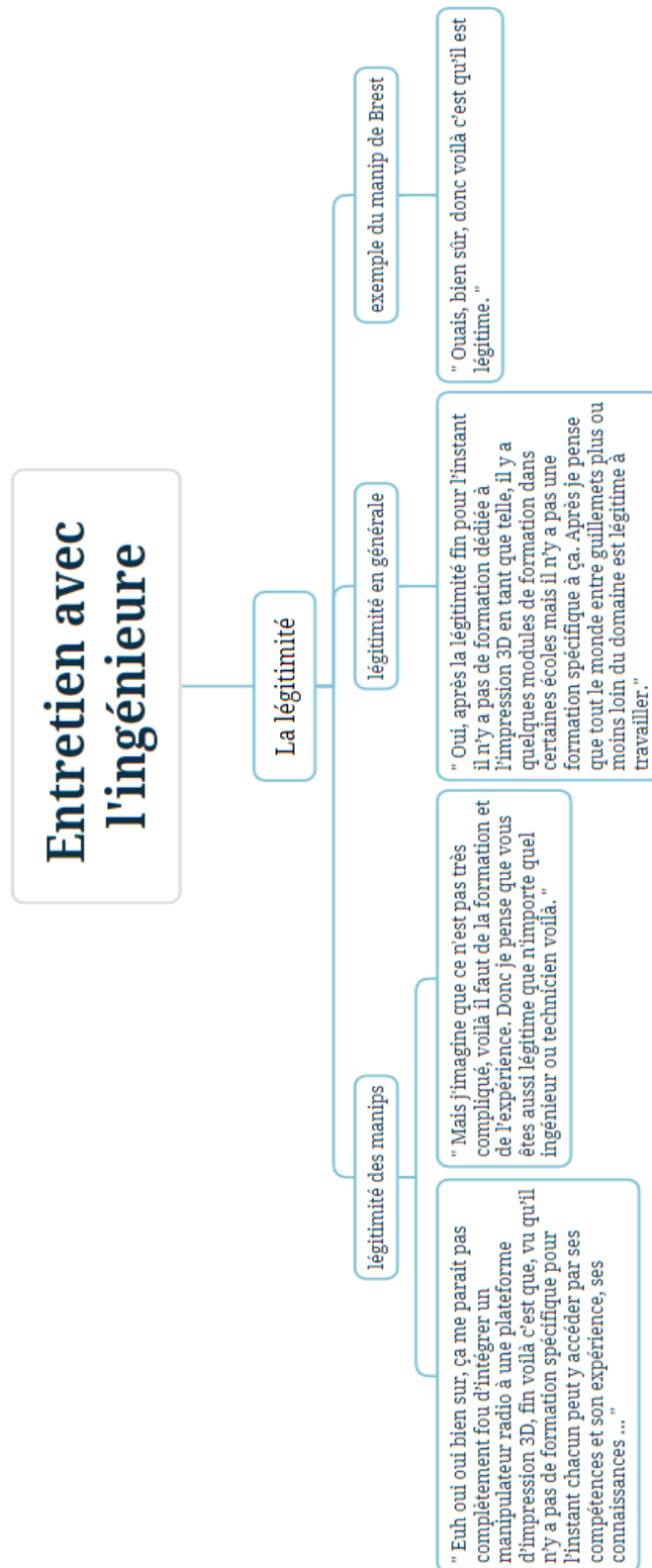
9.5.6. Le lien entre l'ingénieure et les manipulateurs



9.5.7. La mise en place de cette plateforme



9.5.8. La légitimité



9.6. Arborescence des thématiques de l'entretien avec le médecin



9.6.1. La simulation



9.6.2. L'impression 3D et la segmentation

Entretien avec le médecin

L'impression 3D et la segmentation

"On fait les angiogrammes ici on le fait pour la sécurité du patient. On a des machines, ils nous répondent avec le modèle, qu'ils impriment sur mesure. Et après on ajuste."

"Exactement, c'est eux qui s'occupent de ça. Ils ont fait l'impression. Alors on valide la segmentation quand même."

"On valide la segmentation, c'est-à-dire qu'on vérifie que l'imagerie, le contourage des vaisseaux étaient respectés. Mais comme tout processus qu'on fait."

"En fait, elle était faite par le manip. Ensuite, on a envoyé un rapport de segmentation."

"Et on valide la segmentation, bon, ça va. Mais ça n'est pas toujours, parce que c'était plus tôt bien fait, l'algorithme était bien fichu. Comme on leur envoyait des angiogrammes ou des artériographies surtout sur la partie intracrânienne ou il y a besoin d'une très bonne résolution spatiale et une très bonne discrimination entre les points noirs et blancs du cerveau. Et comme il y avait beaucoup de différence sur le rapport signal sur bruit, ils étaient très bons sur la segmentation. Contraste versus du noir c'était très facile de découper quoi. Donc pour eux c'était plus facile."

"On valide derrière parce que si j'ai bien fait, j'ai eu la reproduction, le crois qu'on avait fait une pré-étude, je sais plus si c'est dans ce papier-là, en montrant le gap entre la réalité, voilà le modèle obtenu en 3D avec des mesures ce qu'on appelait la métrologie était bien la même que l'angiographie. C'est ce qu'on a fait, là c'est ce qu'on appelle la métrologie, c'est-à-dire qu'on compare les points sur un ensemble de point de la carouche angiographique versus la réalité. Ça c'était."

"Ayoub : Mais vous vous voyez pas avec la segmentation ou autre ?
Médecin : Oui oui, tu vois même Samuel, je pense qu'il est autonome là dessus. C'est à dire qu'en plus comme il a un background de manip, il sait. Il faut que les manip commencent pas par être référent impression 3D."

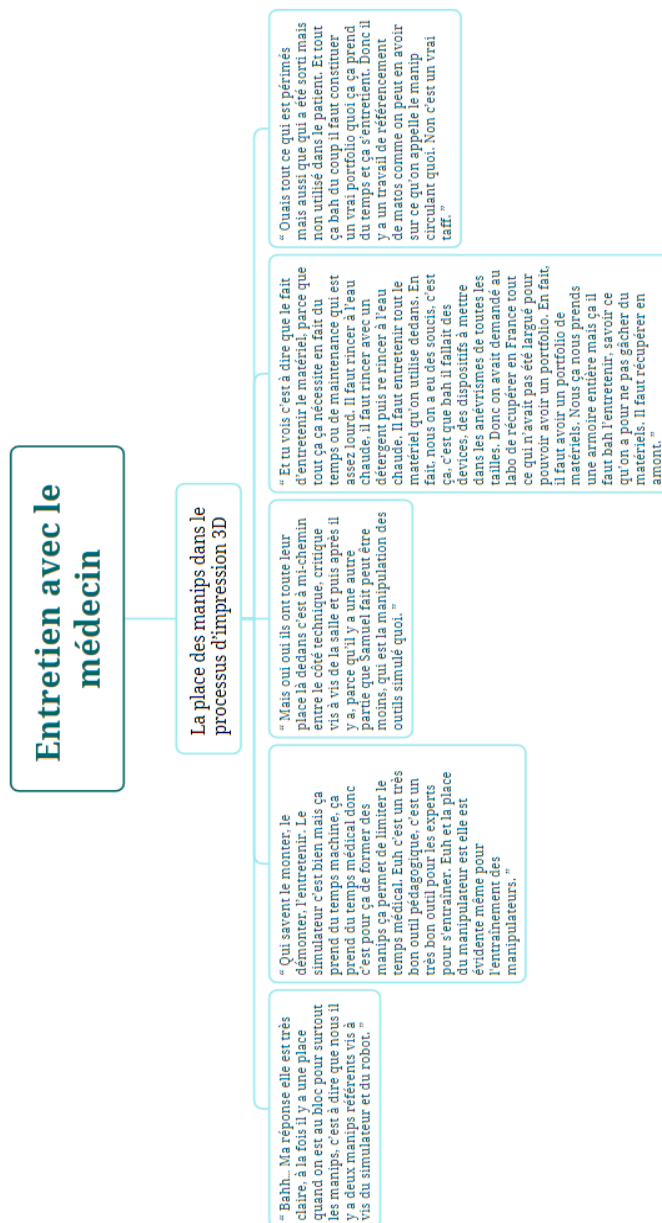
"Mais oui oui ils ont vu sur leur pièce à côté de la pièce, chemin entre le côté technique critique vis à vis de la salle."

"Ayoub : Oui du coup comme tu on t'a dit, c'est des compétences, avec les compétences qu'ils ont dans l'imagerie ça les aident.
Médecin : Ça aide sur la partie segmentation, ça aide probablement sur la partie initiale de comment on en arrive là."

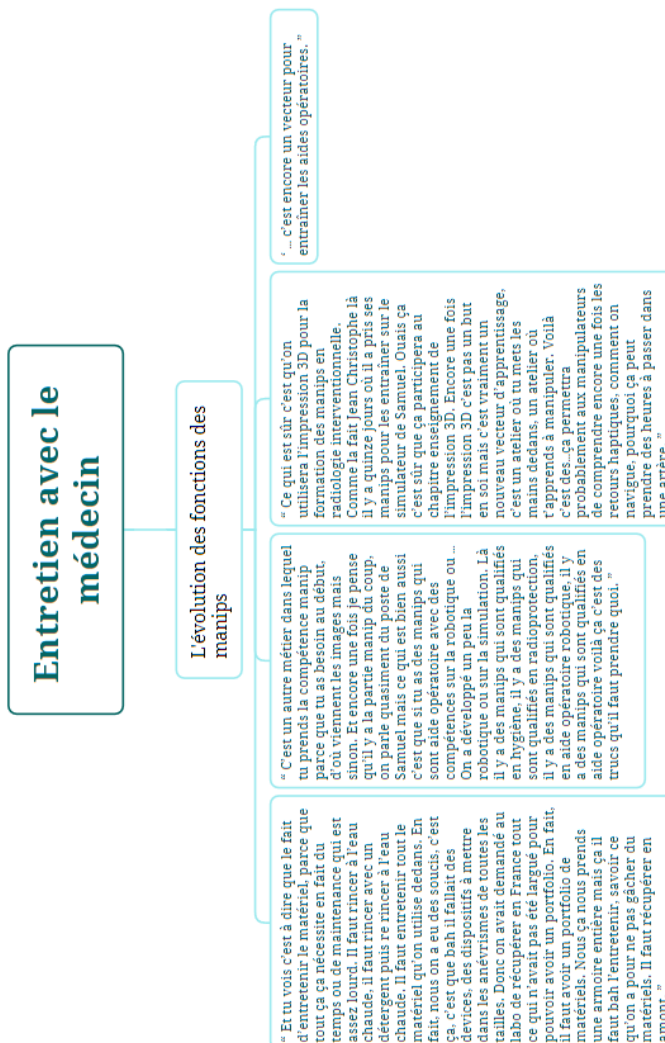
Ayoub : Ah non ouais il faut qu'il y est une expérience quand même en tant que manip avec l'imagerie."

Médecin : Oui exactement ! Il faut qu'il y est déjà une manipulation de l'imagerie pour pouvoir après être autonome sur bah juger de elle est bien en fait. Comment est-ce que ? Pourquoi ? Comment ? Ça joue quoi et c'est clair qu'il faut avoir vu des artériographies pour pouvoir dire est-ce que je suis bien placé ? Comment je suis ? Tu vois ?

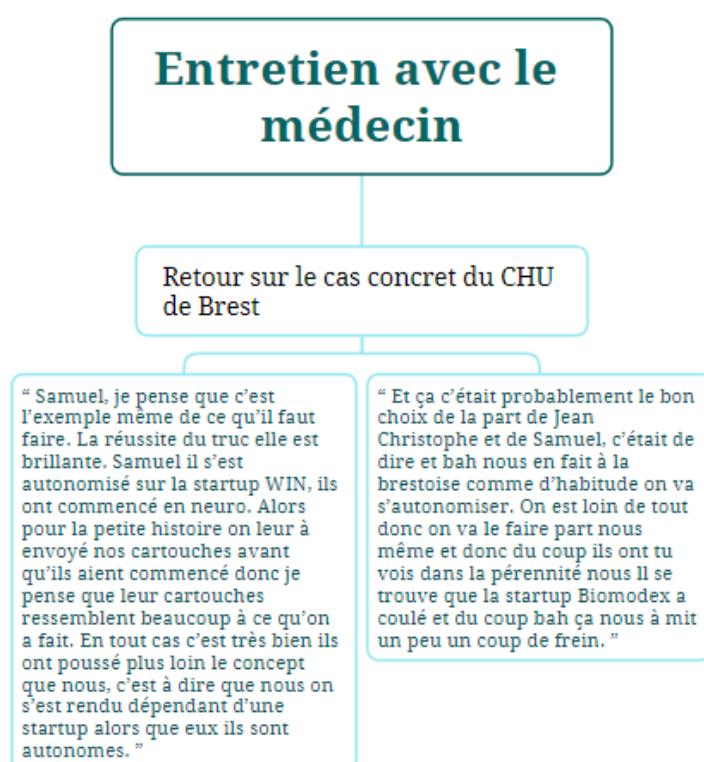
9.6.3. La place des manipulateurs dans le processus d'impression 3D



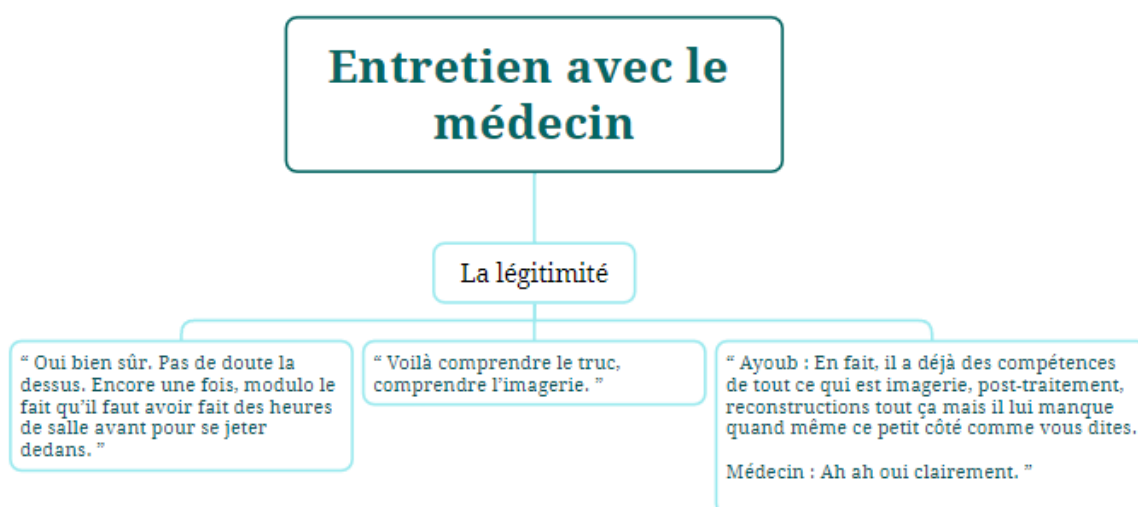
9.6.4. L'évolution des fonctions des manipulateurs



9.6.5. Retour sur le cas concret du CHU de Brest



9.6.6. La légitimité



9.6.7. La formation



9.7. Retranscription de l'entretien avec l'ingénieure

Ayoub : Bonjour !

Ingénieure : Bonjour !
Alors dites moi tout.

Ayoub : Alors du coup moi c'est El Mourabit Ayoub, je suis en troisième année d'école de manip au CHU de Rennes. Et du coup c'est Samuel Guigo, je pense que vous le connaissez du coup (oui oui on a eu l'occasion d'échanger et de se voir). Du coup c'est lui qui nous a fait une petite intervention au semestre 2 ou 3, et ça m'a beaucoup plus l'impression 3D et c'est pour ça bah que mon choix de mémoire s'est tourné sur ça. Et du coup comme je vous avais dit moi c'est plus tourné sur la légitimité que pourrait avoir les manips à intégrer du coup les plateformes d'impression 3D.

Ingénieure : OK !
Après moi je ne connais pas trop, toute la formation que vous avez à l'école. Je sais pas sur qu'elle...fin
C'est sur trois ans c'est ça ?

Ayoub : Oui !

Ingénieure : Et du coup au niveau de la formation, fin hors imagerie, etc vous avez des cours sur quoi ?

Ayoub : Bah on voit tout ce qui anatomie, la physiologie, la technologie liée à l'imagerie, tout ce qui est du traitement d'images, tout ce qui est reconstruction tout ça on fait, tout ce qui est relationnelle patient, on a plein de choses.

Ingénieure : Oui Oui, après la légitimité fin pour l'instant il n'y a pas de formation dédiée à l'impression 3D en tant que telle, il y a quelques modules de formation dans certaines écoles mais il n'y a pas une formation spécifique à ça. Après je pense que tout le monde entre guillemets plus ou moins loin du domaine est légitime à travailler. En se formant bien sûr, moi la première, je me suis formée au fur et à mesure, c'est pas à la sortie de mon école que je connaissais tout sur l'impression 3D, je ne connaissais même rien non plus.

Ayoub : C'est ce que j'allais vous poser comme question : comment êtes-vous arrivé à faire de l'impression 3D ?

Ingénieure : En fait j'ai, à la sortie de mon école j'ai été embauché par la société de Materialise qui eux à l'époque était un des leader dans les logiciels de segmentation et de modélisation pour le domaine médical et pour l'impression en 3D en particulier et ils font aussi des dispositifs sur mesure pour la chirurgie maxillo-faciale en particulier fabriqué par impression 3D. Et donc c'était les premiers en France, en tout cas à faire du DM (dispositif médical) sur mesure fabriqué par impression 3D. Voilà vraiment du « patient spécifique ».

Moi vu que j'étais au tout début de cette activité secretarial, j'ai travaillé pendant 10 ans j'ai appris beaucoup de cette société et donc petit à petit je me suis bien sûr formé sur les logiciel, ce que je faisait c'est les planification avec les chirurgiens sur la reconstruction, différentes choses particulièrement, en maxillo et puis après bah l'activité c'est vraiment développer dans d'autres sociétés. Sur le domaine de la chirurgie personnalisée ça a explosé on va dire dans les années 2015 et puis après voilà, j'ai voulu changer un petit peu et me retrouver un peu plus au contact des soignants et des patients et du coup voilà. La plateforme de Besançon a été créée en 2020, mais initiée en 2018 mais avec les années de covid donc ça dure depuis un petit moment donc ça été vraiment ouvert en 2020. Et donc après ils ont vraiment créé ce poste là en 2022 donc j'ai pu faire ce que je faisais avant mais dans un hôpital et en plus, en plus varié puisqu'il est plus ouvert à de spécialité finalement ouvert a plus de spécialité de l'hôpital donc voilà. C'est donc comme ça que je suis arrivé ici.

Voilà après j'avais pas de formation spécifique sur l'impression 3D.

Ayoub : Avez-vous été formé sur le tas ou suivi une formation ?

Ingénieure : J'avais une formation d'école d'ingénieure quand même biomédicale et ensuite sur l'impression 3D en tant que telle vu que c'était pas très développé, fin quand je suis sorti de l'école en 2012, on en entendait pas vraiment parlé, c'était le tout début de chez Materialise là où j'ai été embauché, c'était vraiment le tout début de cette activité là et c'est là-bas que finalement je me suis beaucoup beaucoup formé, sur leur logiciel et au contact des chirurgiens au quotidien. Donc à la fois sur l'anatomie et la chirurgie et sur la modélisation et la segmentation. Après j'avais beaucoup de bases en imagerie médicale fin, l'école d'ingénieur vu qu'en troisième années c'était spécialisé biomédicale y'avait pas mal de cours sur la biomécanique, l'imagerie, le traitement d'images, la segmentation aussi un petit peu. Voilà donc après, j'imagine que vous en tant que manip, vous avez beaucoup de bases en imagerie, l'anatomie...

Ayoub : Tout ce qui est relationnel avec le patient aussi.

Ingénieure : Relationnel patient moi je, de temps en temps, je participe aux consultations un petit peu des fois pour présenter aux patients les planifications, avec les médecins mais j'ai pas beaucoup de gros de contact avec les patients mais c'est important quand même.

Ayoub : Oui oui, c'est très important.

Après comme j'ai dis y a l'anatomie, tout ce qui est la physiologie donc la connaissance du corps humain, et tout ce qui est technologie, acquisition des images, tout ce qui est reconstructions.

Ingénieure : Oui ça après pour les techniques d'imageries, on utilise autant le scanner, les IRM, on superpose les deux donc oui c'est important d'avoir des....

Ayoub : On a connaissance de l'imagerie en coupe et du corps humain en images.

Ingénieure : Quand on doit segmenter une tumeur sur une IRM et la superposer à un scanner, fin voilà si vous avez toutes les connaissances en imagerie, après j'imagine c'est pareil faut se former.

Ayoub : Oui, oui, tout ce qui est, comme vous dites, la segmentation, ça on ne fait pas du tout, donc je pense que ça il faudrait être formé aussi.

Ingénieure : Mais j'imagine que ce n'est pas très compliqué, voilà il faut de la formation et de l'expérience. Donc je pense que vous êtes aussi légitime que n'importe quel ingénieur ou technicien voilà. Mais il n'y a pas de formation spécifique, même si ici à Besançon, on a créé un DU d'impression 3D, qui est ouvert à tout type de profil, que ce soit médecin, ingénieur, manipulateur radio. C'est sur plusieurs formations, il y a en janvier, mars et mai. Il y a trois jours à chaque fois. C'est assez complet en fait, c'est à la fois sur tout ce qui est les segmentations, planification sur les logiciels

et à la fois sur la réglementation associée à tout ça. Parce que maintenant le règlement européen, il y a quand même pas mal de choses à savoir. Il n'y a pas que de la technique, de l'imagerie, de l'anatomie sur les plateformes, il y a tout ce qui est le système qualité associé, etc. Et ça, c'est pas mal aussi d'avoir des connaissances là-dedans. Je sais que nous, en école d'ingénieur, on avait pas mal de cours sur la qualité et la réglementation, même si elle a changé entre-temps et il faut se remettre à jour. Mais en tant qu'ingénieure sur la plateforme 3D, il faut quand même avoir tout ça en tête, que ce n'est pas juste des imageries patients, c'est aussi toutes les procédures, les modes opératoires associés. Fin tout ce qui est associé, il faut être en règle sur ce qu'on fait. Ça dépend en fait, tout dépend de ce qu'on veut imprimer, tout dépend de ce qui sort de cette plateforme d'impression 3D, ça dépend des hôpitaux. Mais il faut être en règle avec la réglementation. Donc oui, je disais sur le DU, c'est le docteur Louvrier, qui est chirurgien maxillo-facial et qui a créé ce DU. Il est accessible à tous. Donc, c'est une formation qui est sur 3 fois 3 jours. Et voilà, on peut vous envoyer si vous voulez le lien. Pour l'instant, c'est vrai qu'il n'y a pas beaucoup d'écoles qui sont spécialisées là-dedans.

Ayoub : Non, pas encore.

Ingénieure : Pour se former à la suite d'une école.

Ayoub : C'est ça, à la suite de manip, pour ceux qui veulent, qui s'intéressent à se former du coup avec le DU.

Ingénieure : Oui.

Ayoub : Très bien. Et vous, dans l'équipe, du coup, c'est que des ingénieurs et des médecins ?

Ingénieure : Pour l'instant, on n'est que deux, un ingénieur et un médecin qui est responsable médical et moi du coup. Et ensuite, on est en train de faire un petit peu participer les techniciens biomédicaux du CHU pour qu'ils participent à la maintenance des machines, aux commandes de consommables, tout le côté technique que je fais pour l'instant mais que je peux aussi partager avec les techniciens biomédicaux. Donc ça fait partie de... Pareil, les mises à jour des documents qualité, des procédures, etc. Il y a pas mal de choses à faire. Donc pour l'instant, on est une petite équipe, mais qui... fin voilà, à l'échelle du CHU de Besançon, pour l'instant, ça suffit avec l'activité qu'on a. Mais bon, on va accueillir

une nouvelle imprimante polyjet bientôt. Plutôt sur le côté recherche et pédagogie. Ça sera un peu moins sur le soin courant. Mais voilà il y aura un peu plus encore d'activités et peut-être de personnes.

Ayoub : Ok. Du coup, pour continuer, vous, vous faites quoi exactement au quotidien, votre rôle, votre mission ?

Ingénieure : Moi, je fais quoi au quotidien ? Et bien, alors, il y a plusieurs côtés. Je reçois les demandes des différents services qui sont plutôt des services de chirurgie. Il y a les chirurgiens maxillo faciales, l'orthopédie, la neurochirurgie, il y a de la neuroradiologie plutôt en vasculaire. En vasculaire, comme un peu à Brest.

Ayoub : Pour les anévrismes, c'est ça ?

Ingénieure : Oui, pour les anévrismes. Et donc, je traite les demandes au quotidien. C'est vraiment du soin courant pour les patients. Là, c'est patient spécifique. On discute avec le chirurgien de ce qu'il a besoin. Ça peut être seulement une visualisation 3D, donc une segmentation pure pour visualiser une tumeur par rapport aux organes, etc. Ou alors un peu plus loin, sur de la planification chirurgicale et de l'impression si besoin. On n'imprime pas forcément tout, on dit plateformes d'impression 3D, mais on imprime même assez peu. On imprime 20% des cas qu'on fait au quotidien. Les autres, c'est soit de la planification pure ou de la modélisation 3D. Je modélise des dispositifs sur mesure qui vont être utilisés au bloc, mais qui ne seront pas imprimés ici. Donc qui seront imprimés par tout ce qui est implantable ou appuies osseux. Ce n'est pas imprimé ici parce qu'on n'a pas...

Ayoub : Vous ne faites pas tout ce qui est implantable ?

Ingénieure : Ah non, non, j'avais... On ne le croise certainement pas. L'implantable, ça serait du titane. C'est des machines qui... faut compter des milliers d'euros. Il faudrait recréer une entreprise au CHU pour avoir le cadre réglementaire qu'il faut, l'environnement de qualité qu'il faut, le personnel, etc.

Donc à l'échelle d'un hôpital, ce n'est pas très pertinent de faire ça. Donc tout ce qui est implantable, on fait un process un peu hybride avec les sociétés qui font déjà de l'implantable. On modélise toute la partie jusqu'au design en FXI et on leur envoie les fichiers.

Ayoub : Et donc c'est eux qui s'occupent après d'imprimer ?

Ingénieure : C'est eux qui s'occupent d'imprimer et qui prennent la responsabilité réglementaire de la fabrication. La qualité et tout ça. Voilà. Donc voilà, je traite tous ces cas au quotidien. Donc ça représente à peu près 150 patients par an. C'est 2-3 par semaine. Ça occupe déjà beaucoup de temps. Je fais au quotidien sur les logiciels. Au final, les logiciels que le CHU a achetés. On a des licences marquées CE. Ensuite, à côté, il y a toute la partie logistique qualité. On est aidé par des fois des stagiaires des écoles d'ingénieurs, mais sur la partie système qualité, toute la documentation associée à ce qu'on fait, à l'activité, et puis un petit peu gérer les impressions, les machines, les maintenances, commander les consommables, voilà avoir des relations avec la pharmacie, la stérilisation, le service qualité de l'hôpital, faire vivre la plateforme au sein du CHU quoi.

Ayoub : Et tout ce qui est à la console, vous faites les reconstructions et la segmentation c'est ça ?

Ingénieure : Oui, de toute façon pour faire un design, je pars toujours de l'imagerie du patient donné.

Ayoub : Donc on vous donne l'imagerie brute, un scanner, une IRM classique et vous travaillez à partir de ça ?

Ingénieure : On nous donne le nom du patient et ensuite j'accède à ses données d'imagerie sur le PACS de l'hôpital. Je segmente ce qu'il faut segmenter, la région d'intérêt et puis ensuite...le fichier de départ c'est vraiment l'imagerie du patient.

Ayoub : OK

Ingénieure : Petit à petit on arrive à une planification, une modélisation ou une impression si besoin.

Ayoub : OK

Ingénieure : Voilà mon quotidien. Et puis après les calibrations des machines, tout ce qui est un peu annexe entre guillemet mais qu'il faut faire au quotidien sur les imprimantes.

Vous en tant que manipulateurs, c'est pas vraiment le même métier j'ai envie de dire

Ayoub : Oui c'est deux choses différentes mais moi je ce que je voulais montrer par mon mémoire c'est qu'en gros les manipulateurs ont certaines compétences, tout ce qui est reconstructions par rapport aux images, la connaissance de l'acquisition des images, ils connaissent l'anatomie, ils connaissent l'imagerie. Et est-ce qu'ils seraient potentiellement possible de les intégrer sur les plateformes comme ils ont déjà ces connaissances là quoi ?

Ingénieure : Ahh bah oui je pense, non mais oui oui, je pense...

Ayoub : Après c'est sûr comme vous m'avez dit, il faut certaines formations, de tout ce qui est segmentation, connaissances des logiciels et des machines, ça c'est sûr qu'il y aura une autre partie sur la formation.

Ingénieure : Mais c'est pas le même métier qu'un manipulateur radio (ici j'ai un doute sur ce qu'elle dit 17min30) . Parce que enfaite le métier d'ingénieur est tellement diversifié selon l'ingénierie qu'on fait, l'ingénierie médicale ne va pas du tout être la même que l'ingénieur je sais pas dans les sous-marins, c'est très diversifier, donc c'est un peu un nouveau métier qui se crée, mais après oui avec une formation spécifique, chacun peut travailler.

Ayoub : Oui, quelqu'un qui est motivé, qui se donne à fond et se forme, c'est possible quoi.

Ingénieure : ahum, ah oui oui tout à fait

Ayoub : Après c'est sûr que oui, faut je pense avoir cette expérience en tant que manipulateur, avec l'expérience de tout ce qui est reconstructions, acquisitions des images et après une fois avoir acquis ces compétences, du coup se reformer mais du coup plus celles liées à l'impression 3D.

Ingénieure : Oui voilà.

Ayoub : Et du coup vous vous travaillez de près ou de loin avec les manipulateurs ou vous les côtoyez pas du tout ?

Ingénieure : Euh très peu, je les voit un peu en neuroradiologie interventionnelle parce que c'est eux des fois qui font les demandes de modèles d'anévrismes. Mais oui très peu. Parce que finalement la radiologie, je récupère les données d'imagerie mais j'ai pas de relation avec les manipulateurs radio. Et en plus il y en a pas mal qui sont pas faites sur places des imageries, qui sont faites à l'extérieur donc finalement j'ai pas beaucoup de relation avec les manipulateurs radio, c'est vrai que...

Ayoub : Et du coup, eux ils font les images des patients, ils savent que derrière il y aura le processus d'impression 3D qui va être fait ou pas du tout ?

Ingénieure : Euh, enfaite on a souvent fait ici les prescriptions quand il y a des modélisations 3D qui vont être faites, on a besoin de Scanner assez précis, des coupes infra millimétriques et donc ça c'est notifié sur les ordonnances de Scanner que font les manipulateurs aux patients. Donc généralement c'est notifié si besoin de Scanner infra millimétrique pour planification 3D. Voilà après, ils ne savent pas en détail ce qui est fait mais y'a juste ça. Donc voilà c'est vrai qu'on a pas l'occasion de se côtoyer au quotidien, on a pas les même quotidien.

Ayoub : Donc vous ne connaissez pas trop les manipulateurs entre guillemets ou si un peu quand même ?

Ingénieure : Non non pas du tout.

Ayoub : OK.

Non parce que j'avais une question sur, est-ce qu'il y avait certaines compétences qu'ont les manipulateurs et qui pourraient être un avantage ou inconvénient si potentiellement, ils pourraient être intégrés aux plateformes d'impression 3D ?

Ingénieure : J'ai du mal à répondre.

Ayoub : Non mais y a pas de soucis.

Ingénieure : Parce que oui je ne connais pas ce qui, mais bon de toute façon la connaissance de l'imagerie elle est ultra importante dans ce qu'on fait donc ça peut toujours fin ça peut toujours être un plus d'avoir une bonne connaissance en imagerie même si quand je segmente une tumeur et que j'ai un doute y a toujours le chirurgien qui va être là pour m'orienter sur où se trouve la tumeur, ou est-ce qu'elle s'arrête, voilà après ça c'est plus le métier du radiologue que du manipulateurs, d'interpréter les données d'imageries. Voilà.

Ayoub : Pour vous, vous pensez qu'ils pourraient être légitime ?

Ingénieure : Euh oui oui bien sur, ça me paraît pas complètement fou d'intégrer un manipulateur radio à une plateforme d'impression 3D, fin voilà c'est que, vu qu'il n'y a pas de formation spécifique pour l'instant chacun peut y accéder par ses compétences et son expérience, ses connaissances et selon ce que en plus une plateforme d'impression 3D c'est assez vaste, comme terme, parce que selon l'hôpital, ça peut être très très différent d'un CHU à un autre. Donc selon les besoins de l'hôpital, on a pas forcément les mêmes besoins en personnels et en compétences non plus donc c'est assez vaste. On ne peut pas dire ici qu'à Besançon on aurait besoin de telles fin, nous on sait de quelles compétences on a besoin mais on peut pas dire que c'est reproductible pour chaque CHU. Parce qu'on le voit bien en parlant avec beaucoup de CHU qui veulent monter leur plateforme, ils n'ont pas tous les mêmes besoins, des fois ça va être que pour le maxillo, que pour le vasculaire, que pour la recherche, la pédagogie. Fin c'est assez varié en fait donc c'est vrai que c'est à chacun de savoir quelles compétences il a besoin pour sa plateforme.

Ayoub : OK.

Et du coup, vous si par exemple, là on intégrait d'ici quelques années les manips, qu'elles seraient un peu votre attente ? Quelles compétences avez-vous besoin que les manips possèdent ?

Ingénieure : Euh ça serait plus sur la segmentation peut-être et l'impression, peut-être bah faire vivre les machines, les impressions. Donc après je pense que Samuel il vous a aussi raconté ce qu'il faisait.

Ayoub : Bah oui oui, il y a vraiment cet exemple de : il est manip et il fait un peu le métier d'ingénieur entres guillemets.

Ingénieure : Euh oui oui. Donc voilà je pense qu'il est très compétent dans ce qu'il fait, il s'est formé pour ça, et donc.

Ayoub : Aujourd'hui il dirige une plateforme, donc c'est que ça à marché.

Ingénieure : Ouais, bien sûr, donc voilà c'est qu'il est légitime.

Ayoub : Oui c'est ça !

Ingénieure : Pour Brest en tout cas, ça correspond à ce qu'ils voulaient, ce dont ils ont besoin.

Ayoub : Et du coup vous, je sais pas, est-ce que vous avez des retours de manipulateurs ? Mais comme vous me l'avez dit, vous ne les côtoyez pas trop.

Ingénieure : Là pas du tout, j'ai pas trop de retour à vous donner. Là je suis désolée.

Ayoub : Non non, il n'y a pas de soucis.

Et je voulais juste revenir sur, je sais pas si vous avez connaissance ou pas, mais de comment ça s'est formé un peu la plateforme à Besançon ? Comment elle est venue à être montée ? Est-ce que ce sont les médecins, les ingénieurs ?

Ingénieure : Oui c'est les médecins, en fait ça été depuis longtemps les médecins, surtout en chirurgie maxillo-faciale avaient acheté une imprimante, qu'ils avaient dans leur bureau pour imprimer des crânes, pour anticiper les chirurgies et ça, ça fait très longtemps. ça fait plus de 10 ans je pense donc. Mais c'était pas cadré, c'était pas, il n'y avait rien tracé, c'était les internes ou le chirurgien lui-même qui faisait à ses heures perdues. Donc en fait, il y a eu un besoin de structurer un petit peu les choses et bah d'ouvrir à d'autres spécialités, c'était pas que, ils se sont rendu compte qu'il n'y avait pas que la maxillo, qu'il y avait besoin d'impression et puis de planification. Donc ça vient bien des chirurgiens, des médecins de maxillo qui ont fait cette démarche et qui ont mis beaucoup d'investissement et de temps dans le projet. Et donc qui ont structuré un peu les choses au départ et qui ont monté cette plateforme.

Ayoub : Petit à petit.

Ingénieure : De toute façon il faut que ça vienne toujours d'un médecin.

Ayoub : Bah c'est ça oui.

Ingénieure : Il faut que ça soit des demandes de médecins, des souhaits internes du CHU, par des médecins qui sont motivés et qui ont beaucoup de, qui s'investissent dedans quoi.

Ayoub : Et du coup, je ne sais pas si vous avez répondu à la question. Vous êtes arrivée comment du coup au CHU de Besançon dans la plateforme d'impression 3D ?

Ingénieure : Ah bah, j'ai postulée à une offre d'emploi

Ayoub : Ok.

Ingénieure : Oui, une offre d'emploi pour un ingénieur à temps pleins, suite à la structuration de la plateforme, ils se sont rendu compte qu'il fallait quelqu'un à temps pleins pour la faire marcher et ça ne pouvait pas être un médecin de temps en temps qui venait ou un des internes, parce que ça changeait tout le temps, c'était pas possible. Ils ont pas mal (j'ai pas compris 27min) avec la direction pour créer un poste et voilà. Et puis moi à l'époque, je voulais un petit peu changer aussi, ça faisait 10 ans que j'étais dans la même société et voilà ça s'est trouvé que ça correspondait à la fois à mes besoins et à leurs besoins donc c'était voilà.

Ayoub : OK. Très bien !

Ingénieure : Je sais pas si j'ai répondu à vos questions ?

Ayoub : Euh, bah non pour moi c'est tout bon. Je relisais un peu désolé.

Ingénieure : Non non pas de soucis !

Ayoub : Euh, bah j'en avais peut-être une autre. Mais c'est fin ça n'existe pas encore.

Pourquoi ne pas avoir pensé aux manips et pas avoir pris des gens en interne qu'en externe ? Je sais pas trop si c'est clair ?

Ingénieure : Bah alors, ils ont demandé aux ingénieurs biomédicaux qui étaient déjà là en interne. Le problème c'est qu'ils sont trois pour gérer tout l'hôpital, tous les équipements biomédicaux de l'hôpital. Et pareil fin les manips, je pense qu'ils sont, ils ont assez de travaux pour leur métier. En fait, il n'y avait personne qui correspondait au profil en interne en tout cas. On ne s'est pas dit tient, les manips radio, ils vont gérer les imprimantes 3D.

Ayoub : Oui oui, c'est pas

Ingénieure : Non c'était pas logique, il n'y avait pas de. Ils ont leur métier et je pense qu'ils ont déjà pas assez de temps. Déjà que les techniciens à qui on demande pour venir gérer la maintenance des imprimantes, ils nous disent : ah bah nous on est motivé mais en fait on a déjà beaucoup trop de travail, déjà les équipements

quotidien, d'imagerie, de scanner, voilà fin tous les équipements biomédicaux dans un hôpital. Il y en a 6000 donc en fait c'était pas possible de trouver quelqu'un en interne.

Ayoub : OK. Ça a été un choix des médecins du coup de prendre des ingénieurs ?

Ingénieure : Ah oui, il y avait pas le choix de prendre quelqu'un, c'était obligatoire de trouver quelqu'un d'externe qui, y avait pas en tout cas la personne en interne. Pas une question de motivation mais plutôt de travail fin de temps et de compétences en interne qui ne collait pas avec le besoin quoi.

Ayoub : Ok ça marche.

Bah pour moi c'est tout bon, j'avais pas d'autres choses si vous avez des choses à ajouter ? Ou des choses que j'ai pas...?

Ingénieure : Non non.

Ayoub : Vous par exemple, sur un après ça dépend de chaque type de demande que vous avez, ça prend combien de temps en général de l'acquisition des images jusqu'à l'impression ?

Ingénieure : C'est très vaste, des fois ça va me prendre 1h, et d'autres ça va me prendre 30h. Il y a des cas qu'on a fait, fin il n'y a pas que de l'impression mais il fallait modéliser, fin il fallait déjà repositionner des fragments osseux et modéliser des plaques, des guides, là il y a des projets où j'ai mis ouais une trentaines d'heures je crois. Et il y a d'autres où c'est vraiment juste une impression d'une mandibule où là ça va me prendre 1h.

Ayoub : Ok.

Ingénieure : Donc c'est vraiment, il n'y a pas de loi sur le temps de chaque projet. C'est très/ ça peut-être très variable.

Ayoub : Et du coup vous tout ce que vous imprimez derrière c'est utilisé pour l'éducation thérapeutique du patient, les formations des médecins et tout ça quoi du coup ?

Ingénieure : C'est deux choses différentes, il y a les modèles qu'on imprime pour le soin, pour un patient donné qui va rentrer dans le processus de soin de ce patient. Et à côté il y a les cours, les formations, les projets pédagogiques, les projets de recherche, les articles scientifiques, ça c'est un autre travail en fait. Je vais travailler avec quelqu'un pour un article pour un tel sujet, ça va être totalement différent du soin courant des patients. Mais ça fait partie aussi de mon quotidien, les projets de recherche.

Ayoub : Ok. Et vous éditez des articles du coup de temps en temps, ça vous arrive ?

Ingénieure : Ah ouais ouais, on a une base maintenant d'articles sur la plateforme, entre 10 et 15 articles qui ont été publiés. Fin lié de près ou de loin à la plateforme mais...

Ayoub : Ils sont accessibles facilement ?

Ingénieure : Oui si vous voulez, vous tapez Louvrier, le docteur Louvrier, c'est le responsable médical de la plateforme, c'est lui qui en a publié pas mal et de maxillo en générale.

Ayoub : Très bien, je vais regarder tout ça.

Ingénieure : Après on a pas encore trop d'étude niveau économique mais ça sera peut-être la prochaine étape pour montrer vraiment, c'est toujours difficile de montrer les bénéfices par forcément que économique mais tous les bénéfices d'une telle plateforme concrètement. Donc après il y a des études qui montrent, qui se mettent en place mais c'est toujours un peu long.

Ayoub : Ok.

Mais vous vous voyez quand même qu'il a un potentielle bénéfice pour les patients ou pour les médecins et tout ?

Ingénieure : Ah oui bien sûr, les médecins, tout le monde à de très très bon retours

Ayoub : Donc des bons retours ?

Ingénieure : Ah oui oui ! Sinon ça serait inquiétant.

Ayoub : C'est ça !

Et du coup tout ce qui est qualité, vous m'avez dit du coup c'est vous qui gérer ?

Quand le modèle est imprimé, c'est vous qui le testez fin vous faites quoi exactement ?

Ingénieure : Oui, y a des contrôles, j'ai une fiche de contrôles qui, y a les contrôles qualités post-fabrication voilà. Pour montrer que ce qu'on imprime est conforme à ce qu'on a la demande. Après ça reste des modèles anatomiques, c'est assez basique comme dispositif médicaux hein donc on prend pas beaucoup de grands risques à imprimer. Mais voilà il faut quand même montrer que ça correspond à l'anatomie du patient etc. Mais voilà on ne fait rien qui va dans le patient.

Ayoub : Par exemple les anévrismes, fin faut être précis aux millimètres. Là on a pas trop le choix de.

Ingénieure : Les anévrismes voilà, il faut montrer que ce qu'on imprime ça correspond au patient. Toute la procédure adaptée, fin associée à l'impression de l'anévrisme. Il faut que ce soit quelque chose de reproductible. Il faut voilà que la documentation derrière soit cadrée.

Ayoub : Ok.

Et les demandes du coup, c'est le même chirurgien, le docteur Louvrier qui fait les demandes ou non vous avez des demandes de ?

Ingénieure : Ah non non, ce n'est pas forcément lui, j'ai des demandes de tous ceux qui veulent, de tous les médecins qui ont besoin. ça peut être n'importe qui de l'hôpital qui a besoin.

Ayoub : Ok.

Et du coup, le docteur Louvrier il étudie les demandes, qu'il vous fait part après ? Ou non vous vous recevez directement ?

Ingénieure : Non je reçois directement, après on travaille au quotidien ensemble, donc il sait tout ce qui passe par la plateforme. Il connaît, il est le responsable médical, donc il est au courant de tout ce qui se passe sur la plateforme. Il n'étudie pas en détail toutes les demandes mais voilà je lui en parle régulièrement.

Ayoub : ça marche. Très bien, très bien.

Et bah je pense que c'est tout bon pour moi.

Ingénieure : Parfait bon bah.

Ayoub : Merci en tout cas à vous d'avoir pris de votre temps.

Ingénieure : J'espère que ça vous aura aider.

Ayoub : Bah oui clairement ! Merci d'avoir répondu à mes questions !

Ingénieure : Je veux bien lire le mémoire, si vous l'avez un jour.

Ayoub : Ok, bah je pense que je penserai à vous et je vous l'enverrai.

Ingénieure : Parce que là c'est la dernière année de votre école ?

Ayoub : Oui c'est ma dernière année. C'est ça ! C'est en trois ans.

Ingénieure : Ok ! Et donc l'idée c'est de rejoindre une plateforme à la sortie d'école ?

Ayoub : Bah après pourquoi pas ouais si c'est possible pour les manips tout ça.

Ingénieure : Ah oui oui, après...

Ayoub : Voir si, on en parlait avec Samuel Guigo, qui me disait lui, il voudrait peut-être ouvrir une formation, fin ce serait le but dans les années à venir. Peut-être pas à l'école de manip, parce que ça n'intéresserait pas tout le monde. Mais plutôt, fin faire un DU comme certains manips font le DU d'échographie quoi.

Ingénieure : Oui, ah bah le DU, nous le DU d'impression 3D, il est ouvert à tous, celui qui existe ici.

Ayoub : Ok !

Ingénieure : Voilà, ça peut-être n'importe qui qui le fait en plus de sa formation initiale.

Ayoub : Donc ouais c'est ouvert à tous les profils en fait ?

Ingénieure : Ah oui bien sûr ! Tous les ans, il y a des profils différents qui viennent donc ouais.

Ayoub : Et la formation, c'est des médecins qui la donnent, des ingénieurs ou vous ?

Ingénieure : Ouais, je tout, il y a des médecins, des radiologues, des pharmaciens, il y a des sociétés extérieures qui en font partie. Moi, j'en fait partie aussi, des ingénieurs, c'est très divers.

Ayoub : OK.

Et fin c'est reconnu cette formation là par l'Etat ?

Ingénieure : Euh oui c'est un DU, un diplôme universitaire.

Ayoub : Très bien. Et vous savez à peu près le nombre de place ?

Ingénieure : Alors c'est ouvert fin, le nombre de place c'est en fonction des années, il n'y a pas vraiment de limitation dans le nombre de place. Il faut s'inscrire et normalement vous êtes pas refusé sauf si vraiment il y a 50 ou beaucoup plus d'inscription. Mais bon après, on voit qu'il y a pas mal d'intérêt tous les ans. Donc non non il faut si vous êtes intéressé, il faut tenter. C'est toujours un plus par rapport à la formation initiale

Ayoub : C'est ça !

Et du coup c'est des petits cours ? Est-ce qu'il y a de la pratique un peu ?

Ingénieure : Y a de tout, des cours théoriques et des cours pratiques. C'est assez mixte. Il y a des cours magistraux sur la qualité, sur de la segmentation, sur de l'imagerie, un petit peu d'anatomie. Et il y a de la pratique sur de la segmentation, sur tous types de logiciel, à la fois des logiciels libres d'accès et des logiciels marqués CE. Et il y a de la pratique un petit peu sur les impressions, les imprimantes 3D. Voilà donc c'est assez varié.

Ayoub : Très bien ! Et bah merci beaucoup à vous d'avoir pris le temps de me répondre.

Ingénieure : Bah avec plaisir !

Ayoub : Et bah je penserai à vous du coup pour le mémoire.

Ingénieure : Bah bon courage pour la suite !

Ayoub : Merci et également à vous aussi !

Ingénieure : Merci !

Ayoub : Merci à vous ! Bonne journée à vous ! Au revoir !

Ingénieure : Bonne journée ! Au revoir !

9.8. Retranscription de l'entretien avec le médecin

Ayoub : Bonjour !

Médecin : Bonjour !

Ayoub : je m'appelle El Mourabit Ayoub, je suis en troisième année à l'école de manipulateur au CHU de Rennes. Suite à une présentation d'un manipulateur sur l'impression 3D, qui m'a beaucoup plu, j'ai décidé de faire mon choix de mémoire sur cette technologie. Le thème de mon mémoire porte sur la légitimité et le rôle que pourraient avoir les manipulateurs à intégrer les plateformes d'impression 3D. Je vais donc vous poser quelques questions. Concernant cet entretien, est-ce que vous êtes d'accord pour qu'il soit enregistré ? Il sera utilisé seulement dans le cadre de mon mémoire et de manière anonyme. Je me permets donc de vous entretenir, à la suite de la lecture de votre article sur l'étude que vous avez réalisé sur les embolisations des anévrismes complexes avec l'aide de l'impression 3D. (étude SIM 3D)

Médecin : Ça date de 2018 je crois, c'est ça ?

Ayoub : Euhh je crois, euh non en 2021 il me semble.

Médecin : L'étude est plus ancienne que ça. On va se rafraîchir la mémoire parce que du coup ça fait longtemps.

Ayoub : Euhh du coup comment vous en êtes arrivé à utiliser l'impression 3D au CHU de Rennes et en neuroradiologie interventionnelle ?

Médecin : En fait, l'état existant c'est qu'il y avait déjà pas mal, ... pardon, il y avait beaucoup de simulateur, on appelle numérique. Les simulateur numérique c'est bien mais le problème c'est qu'il y avait pas ce qui nous manquait c'est ce qu'on appelle le retour haptique. Le retour haptique c'est la capacité de nos doigts à sentir ce qu'il se passe au bout du guide ou du cathéter. Et qui est probablement la sensation basée sur l'expérience en faite et qui permet de savoir quand on est dans une situation dangereuse. Et donc il nous manquait cette, ce retour haptique sur les simulateurs numériques. Donc on est allé un petit peu plus loin, ce qu'il s'est passé c'est que j'avais entendu parlé de de d'un incubateur de startup de chez Dassault qui faisait ces simulateurs générique à l'époque, c'est-à-dire qu'ils faisaient des coeurs imprimés en 3D pour entraîner les cardiologues et ça m'intéressait de savoir s'ils étaient capable de faire de la neuro. Donc là on est allé les voir. Et ils avaient, ce qui m'intéressait chez eux c'est qu'ils avaient cette capacité à faire des sections de d'épaisseur et de parois différentes donc ça c'était très important pour moi parce que c'est pas pareil une carotide qui est toute droite que les vaisseaux intracrâniens.

Et donc euhh je voulais que ça soit fait de façon intelligente et ça on a co-développé du coup des cartouches de neuroradio avec eux. Voilà c'était ça le truc.

Ayoub : Et donc ça fait longtemps que vous utilisez ça ? Fin ça à mis combien de temps ?

Médecin : Ça met un peu de temps parce que du coup je crois qu'on les a contactés début 2018 donc on a sorti l'étude en 2021 donc ouais on s'y est intéressé assez tôt avec le docteur Le Bras, c'était Anthony aussi qui était sur le coup. Et donc voilà on a co-développé avec eux les cartouches et puis après ce qu'on c'était dit qu'il y avait deux intérêts. Il y avait l'intérêt pédagogique c'est-à-dire j'entraîne des plus jeunes avant qu'ils aillent chez les patients, ça évite que sur les patients on s'entraîne quoi. Et puis il y avait ce qu'on appelle les cartouches spécifiques qui était plus là dans notre cas d'étude, c'est-à-dire c'est des anévrismes qui sont complexes, même pour nous expert entre guillemets et pour lequel on aurait voulu s'entraîner avant pour qu'au jour j de l'embolisation des patients soient au top et entraîner et qu'on est vu éventuellement diverse scénarios. Ça se fait dans enfaite ça se fait dans pleins d'autres milieu que la médecine hein, ça se fait dans les milieux militaires, milieu de l'ingénierie...

Ayoub : Ouais c'est s'entraîner pour être sur le jour j

Médecin : Ouais c'est s'entraîner pour être sûr que le jour j on sera bon. Là c'est l'intérêt global de la simulation. Et ça c'est plutôt intéressant.

Ayoub : Et quand vous dites cartouches c'est-à-dire ? Ça veut dire quoi ?

Médecin : Les cartouches en fait c'est des... (il va chercher une boîte). Les cartouches c'est ça. Les cartouches c'est des cartouches.

Ayoub : Je peux toucher ?

Médecin : Oui bien sûr !

C'est des cartouches qui sont placées dans des dans un simulateur une sorte de....

Ayoub : Et qui reproduit tout le chemin que vous faites vous avec les guides.

Médecin : Alors ça c'est que la cartouche d'une partie, finalement la partie intracrânienne. Et puis à force de travailler avec eux on a décidé qu'il fallait faire un truc plus complexe. On a fait aussi une crosse aortique

Ayoub : Ahhhh ouais !!

Médecin : Une crosse aortique pour pouvoir s'entraîner sur les différentes voies et tout.

Ayoub : Et ça reproduit vraiment la même texture ?

Médecin : Après c'est peut être un peu plus rigide mais celle-là elle avait vocation à entraîner les plus jeunes. Donc on l'avait fait assez solide et puis elle se met en avant de la cartouche neuro. Là comme ça, on enlève ici et on arrive, ici il y a un autre tuyau. Y a une autre machine. Donc ça reproduit le plus finalement possible par rapport à l'anatomie. En fait, nous on envoyait des cartouches des imageries, on envoyait des angioscanner.

Ayoub : Ouais donc vous vous faites les angioscanner du patient ici.

Médecin : On fait les angioscanner ici on le renvoie sur un serveur sécurisé machin. Ils nous répondent avec le modèle, qu'ils impriment sur mesure. Et après on ajuste.

Ayoub : Et vous vous faisiez juste seulement les images et après tout est envoyé. Et c'est eux qui s'occupaient après de l'impression ?

Médecin : Exactement, c'est eux qui s'occupait de toute la partie impression. Alors on validait la segmentation quand même.

Ayoub : Ahh ok ça c'est important.

Médecin : On validait la segmentation, c'est-à-dire qu'on vérifiait que l'imagerie, le contourage des vaisseaux étaient respectés. Mais comme tout processus qu'on fait. En fait, au tout début de l'impression 3D, peut-être quand j'étais interne en neurochirurgie donc ça date de 2013. On pouvait imprimer en 3D des cranioplastie. Des cranioplastie c'est quand on retire une partie de la voûte crânienne, une société italienne qui du coup on leur envoyait le scanner et ils renvoyaient. Ils faisaient une impression 3D pour vérifier avec le crâne du patient que ça collait bien. Donc c'était vraiment mon premier contact avec l'impression 3D.

Ayoub : Et donc la segmentation c'est vous les médecins qui faisiez ça.

Médecin : En fait, elle était faite par la startup Biomodex. Il nous envoyait un rapport de segmentation.

Ayoub : Et vous vous validiez la segmentation ?

Médecin : Et on validait la segmentation, bon globalement on validait toujours, parce que c'était plutôt bien fait, l'algorithme était bien fichu. Comme on leur envoyait des angioscanner ou des artériographies surtout sur la partie intracrânienne ou il y a

besoin d'une très bonne résolution spatiale et une très bonne discrimination entre les points euuh et bah ça du coup c'était comme il y avait beaucoup de différence sur le rapport signal sur bruit, ils étaient très bon sur la segmentation. Contraste versus du noir c'était très facile de découper quoi. Donc pour eux c'était plus facile.

Ayoub : Ok !

Médecin : Donc ça c'était bien. Et on validait la segmentation.

Ayoub : Oui donc vous validez bien la segmentation avant impression derrière.

Médecin : On validait derrière parce que, il fallait bah il y avait un petit enjeux de reproductibilité. Je crois qu'on avait fait une pré étude, je sais plus si c'est dans ce papier là, en montrant le gap entre la réalité voilà le modèle obtenu en 3D avec des mesures ce qu'on appelait la métrologie était bien la même que l'artériographie. C'est ce qu'on a fait là c'est ce qu'on appelle la métrologie. Voilà on comparait les points sur un ensemble de point de la cartouche angiographique versus la réalité. Ça c'était...

Ayoub : C'est fou !

Médecin : C'était bien ça ! On a fait les choses bien.

Ayoub : Ouais.

Médecin : Ca c'est Anthony qui a eu l'idée.
Il est un ancien ingénieur Anthony donc c'est pour ça qu'il est assez carré quand même.

Ayoub : Ahhh oui ok !

Médecin : C'était bien.

Ayoub : OK OK !

Et du coup ouais moi ça serait de voir est-ce que potentiellement il y aurait une place pour les manip dans cette... dans ce processus là en fait ?

Médecin : Bahh... Ma réponse elle est très claire, à la fois il y a une place quand on est au bloc pour surtout les manips, c'est-à-dire que nous il y a deux manips référents vis à vis du simulateur et du robot.

Ayoub : Du simulateur là ?

Médecin : Oui de ce simulateur qui est là.

Ayoub : Ok.

Médecin : Qui savent le monter, le démonter, l'entretenir. Le simulateur c'est bien mais ça prend du temps machine, ça prend du temps médical donc c'est pour ça de former des manips ça permet de limiter le temps médical. Euh c'est un très bon outil pédagogique, c'est un très bon outil pour les experts pour s'entraîner. Euh et la place du manipulateur est elle est évidente même pour l'entraînement des manipulateurs. En fait quand je dis éducatif c'est pas que pour les médecins, pour les étudiants manipulateurs, pour les aides opératoires. Le seul souci c'est que là les cartouches qu'on a dessinées elles sont intéressantes que quand elles sont au bloc, c'est-à-dire qu'il faut être au bloc pour avoir les rayons X. Euhh sur la fin on...la collaboration avec Biomodex on avait mis en place des cartouches qui étaient translucides pour limiter en fait le temps d'utilisation au bloc. Donc voilà comme ça au moins on peut voir par au-dessus, ou alors ils avaient inventer un système de caméra pour faire comme si on était au bloc avec un double écran mais que ça soit transparent parce que le temps au bloc il est trop ça prenait trop de temps. Euh voilà et alors pour le processus avant de manipuler c'est pas moi qu'il faut interviewer c'est Samuel Guigo à Brest.

Ayoub : Ah oui vous le connaissez ?

Médecin : Samuel, je pense que c'est l'exemple même de ce qu'il faut faire. La réussite du truc elle est brillante. Samuel il s'est autonomisé sur la startup WIN, ils ont commencé en neuro. Alors pour la petite histoire on leur a envoyé nos cartouches avant qu'ils aient commencé donc je pense que leur cartouches ressemblent beaucoup à ce qu'on a fait. En tout cas c'est très bien ils ont poussé plus loin le concept que nous, c'est-à-dire que nous on s'est rendu dépendant d'une startup alors que eux ils sont autonomes.

Ayoub : Eux ils ont vraiment la plateforme, les imprimantes sur place et tout.

Médecin : Et ça c'était probablement le bon choix de la part de Jean Christophe et de Samuel, c'était de dire et bah nous en fait à la brestoise comme d'habitude on va s'autonomiser. On est loin de tout donc on va le faire part nous même et donc du coup ils ont tu vois dans la pérennité nous Il se trouve que la startup Biomodex a coulé et du coup bah ça nous a mit un peu un coup de frein.

Ayoub : Ça vous a stoppé ?

Médecin : Oui ça nous a stoppé.

On a lancé d'autres projets avec le robot mais... Et donc lui euh ils continuent quoi. Il y a quinze jours ils ont fait une cession formation pour leurs manips sur les simulateurs WIN là qu'ils ont, l'objectif il est atteint. Mais voilà c'est bien parce que Samuel il a à la fois. Alors du coup ils ont commencé par la neuro mais c'est toujours

comme ça, on commence toujours par la neuroradio on a un temps d'avance. Non mais c'est vrai on commence toujours par la neuroradio et puis après c'est les autres qui en profitent. Donc l'orthopédie lui a... est venu toper à sa porte, l'ORL...

Ayoub : La maxillo-faciale ?

Médecin : La maxillo voilà, et du coup il a prit de l'expérience, du coup ils ont pu racheter d'autres machines. Ils ont acheté d'autres matériaux, ils deviennent bons dans plus de domaine que la neuroradio.

Ayoub : Ok.

Médecin : Et du coup tu l'as interviewé ?

Ayoub : Oui oui, bah c'est à partir de lui que bah m'est venu l'idée de du choix de mémoire.

Médecin : C'est lui qui t'as dit de venir me voir ?

Ayoub : Euh non non, moi c'est en fait j'ai fait un questionnaire aussi pour les manips pour voir s'ils se sentaient légitime ou pas. Sauf que j'ai eu très peu de réponses comme bah c'est un peu bah c'est pas très répandu.

Médecin : Ok.

Ayoub : C'est pas encore très connu.

Et du coup bah, j'avais fait un entretien avec une ingénieure biomédicale de Besançon.

Médecin : Ok.

Ayoub : Et je me suis dit que bah faut que je fasse avec un médecin qui a pu utiliser l'impression 3D. Pour avoir un peu votre avis concernant l'impression 3D et les manips.

Médecin : Ouais c'est bien !

Ayoub : Mais vous vous verrez par exemple les manips faire de la segmentation ou autre ?

Médecin : Oui oui, pleinement y a pas de fin, tu vois même Samuel je pense qu'il est autonome là dessus. C'est-à-dire qu'en plus comme il a un background de manip, il sait... Il faut que les manips commencent pas par être référent impression 3D.

Ayoub : Ah non ouais il faut qu'il y est une expérience quand même en tant que manip avec l'imagerie.

Médecin : Oui exactement !

Il faut qu'il y est déjà une manipulation de l'imagerie pour pouvoir après être autonome sur bah juger de : est-ce que la segmentation elle est bien en fait ? Comment elle est faite ? Pourquoi ? Comment ? Ça ça joue quoi et c'est clair qu'il faut avoir vu des artérios pour pouvoir dire est-ce que je suis bien placé ? Comment je suis ? Tu vois ?

Ayoub : Oui.

Médecin : Donc ça c'est pas mal.

Mais oui oui ils ont toute leur place là dedans c'est à mi-chemin entre le côté technique, critique vis à vis de la salle et puis après il y a, parce qu'il y a une autre partie que Samuel fait peut être moins, qui est la manipulation des outils simulé quoi.

Ayoub : Je pense que lui il fait pas.

Médecin : Et tu vois c'est-à-dire que le fait d'entretenir le matériel, parce que tout ça ça nécessite en fait du temps ou de maintenance qui est assez lourd. Il faut rincer à l'eau chaude, il faut rincer avec un détergent puis re rincer à l'eau chaude. Il faut entretenir tout le matériel qu'on utilise dedans. En fait, nous on a eu des soucis, c'est ça, c'est que bah il fallait des devices, des dispositifs à mettre dans les anévrismes de toutes les tailles. Donc on avait demandé au labo de récupérer en France tout ce qui n'avait pas été largué pour pouvoir avoir un portfolio. En fait, il faut avoir un portfolio de matériels. Nous ça nous prends une armoire entière mais ça il faut bah l'entretenir, savoir ce qu'on a pour ne pas gâcher du matériels. Il faut récupérer en amont.

Ayoub : Ce qui est périmé entre guillemets ?

Médecin : Ouais tout ce qui est périmés mais aussi que qui a été sorti mais non utilisé dans le patient. Et tout ça bah du coup il faut constituer un vrai portfolio quoi ça ça prend du temps et ça s'entretient. Donc il y a un travail de référencement de matos comme on peut en avoir sur ce qu'on appelle le manip circulant quoi. Non c'est un vrai taff.

Ayoub : Ok.

Donc vous, pour vous, vous avez dit qu'ils sont légitimes, ils ont pleinement leur place ?

Médecin : Oui bien sûr. Pas de doute la dessus. Encore une fois, modulo le fait qu'il faut avoir fait des heures de salle avant pour se jeter dedans.

Ayoub : Oui voilà comprendre le truc.

Médecin : Voilà comprendre le truc, comprendre l'imagerie. Je devais contacter Samuel depuis, mais je n'ai pas eu le temps mais. Il y a des, je sais pas si lui a fait un vernis ou une formation sur l'impression 3D. Parce que quand on discute avec les ingénieurs de Biomodex, il y a aussi un petit savoir-faire, par exemple dans la gestion des différentes stratégies. En fait, tu ne mets pas les mêmes polymères. Donc en fait, il faut ok parce que le manip sur la gestion segmentation, visualisation, utilisation du matériels mais il faut qu'il ai une plus value sur aussi et une connaissance de l'impression 3D quoi. Qu'est-ce qui le forme à l'impression 3D ?

Ayoub : C'est ça, c'est la question.

Médecin : Qu'est-ce qui le forme ?

Ayoub : En fait, il a déjà des compétences de tout ce qui est imagerie, post-traitement, reconstructions tout ça mais il lui manque quand même ce petit côté comme vous dites.

Médecin : Ah ah oui clairement.
Je ne sais pas où est-ce qu'il s'est formé Samuel.

Ayoub : Lui quand je l'ai interviewé c'était un peu sur le tas, des conférences, il a un peu fait son petit truc.

Médecin : Ouais mais là, le truc faut que ça soit à niveau professionnel c'est-à-dire que les machines elles coûtent chères ils faut les faire tourner. Il faut qu'il ait les bons polymères. Est-ce que je suis au courant des derniers polymères qui sortent. Il faut se tenir à la page et tout. Donc c'est quand même un sacré boulot. Donc oui oui manip mais il faut se former du coup à ça quoi, à la partie impression quoi.

Ayoub : C'est ce qui en ressortait de l'entretien avec l'ingénieure. Fin, par exemple à Besançon, il y a un DU ouvert à tous profils.

Médecin : Dédié à l'impression 3D ?

Ayoub : Oui dédié à l'impression 3D, en gros la segmentation, la gestion de projets tout ça tout ça.

Médecin : Bah ouais c'est ça, oui oui il faut.

Ayoub : Ce que lui veut faire un peu avec Samuel, c'est de bah d'ouvrir une formation.

Médecin : Pour les manip.

Ayoub : Pour les manip.

Médecin : Très bien, super ! C'est un très bon truc.
Parce que chacun des centres doit avoir...

Ayoub : Sa petite équipe.

Médecin : Ouais sa petite équipe, ou est-ce qu'on se répartit les choses ? Je sais pas à Brest on fait la neuro, on fait le digestif à Rennes, fin après voilà c'est une organisation. Mais plutôt que d'avoir des tout le monde fait un peu de tout. Peut-être qu'on peut faire mieux chacun.

Ayoub : Ouais !

Médecin : Bon c'est à discuter.

Ayoub : Et ouais les formations, le type de formations, ça serait DU du coup ?

Médecin : DU c'est bien, y a des formats courts d'apprentissage. Maintenant il y a des alternances qui peuvent se rajouter en plus.

Ayoub : Aussi ouais.

Médecin : Ca c'est des choses qui sont importantes. Il y a des bah il y a tant de formations accessibles en fait par les comptes de formations continues, la formation professionnelle, tout ça. Il y a des trucs je pense qu'on peut aller toper. Je veux dire...il y a bien des formations pour devenir manager ou cadre une fois que tu es manip donc. Il y a bien des formations pour prendre une corde à ton arc technique qui serait comment faire de l'impression 3D. Et même dans le secteur privé hein, faut pas oublier que voilà c'est Dassault ou chez je sais pas moi chez Renault c'est des années qu'ils font de l'impression 3D donc faut pas hésiter à aller chercher ailleurs.

Mais je n'ai pas connaissance moi de formation.

Ayoub : Bah c'est ça en fait c'est pas, c'est pas encore

Médecin : C'est pas encore bien structuré.

Ayoub : Oui voilà, je sais juste qu'il y a le DU à Besançon qui est mis en place du coup par des médecins et des ingénieurs qui font de l'impression 3D, qui donnent des cours sur trois fois trois jours.

Médecin : Ouais y a un gros labo à la l'AP-HP.

Ayoub : Ok !

Médecin : À l'AP-HP ils ont même structuré un truc en étant tous...tout est centré ouais.

Ayoub : Ok.

Médecin : Y a un labo à l'AP-HP.

Ayoub : A l'AP-HP ok.

Médecin : Ouais, labo d'impression 3D, c'était encore une fois je crois la maxillo-faciale.

(recherche sur l'ordinateur)

L'ensemble de l'impression 3D au cœur du nouveau site de formation du...

Ils peuvent choisir, ils peuvent à peu près tout imprimer. Octobre 2023, c'est récent hein.

Ayoub : Oui !

Médecin : Bon après imprimer des coeurs c'est...

Bon voilà, catalogue de produits... Ok. C'est un peu...

Ayoub : Euh donc ouais par rapport à l'évolution des fonctions des manips avec l'intégration de cette technologie, vous voyez ça comment ? Et vers quelles évolutions ?

Médecin : On voit bien je pense que Samuel il a plus beaucoup d'heures au bloc maintenant, il bosse quasiment à 100 %.

Ayoub : Oui il ne fait plus d'imagerie je crois, c'est que l'impression 3D à 100 %.

Médecin : Il fait que de l'impression 3D, parce que il a en plus un travail de communication, il a un travail important. Euh...c'est bien que ça soit un manip qui parce que c'est des choses qui viennent de la radio et qu'on part de ça.

Ayoub : Oui de l'imagerie.

Médecin : De l'imagerie.

Après euh...ouais ça devient quasi exclusif, c'est un peu comme un, tu vois un cadre manip à un moment, il est plus en salle quoi. Le cadre du bloc, il a un rôle autre que,

c'est bien si c'est un manip à la base. Mais c'est plus systématiquement un manip. Mais c'est juste qu'après il travaille fin il peut plus faire les deux quoi.

Ayoub : Oui c'est s'il est lancé dans le processus.

Médecin : Être le cul entre deux chaises, un moment tu es mal assis.

Ayoub : Tu sais plus où mettre la tête quoi.

Médecin : Voilà donc du coup, il faut voilà je pense que c'est bien que t'es fait manip un moment et puis après que tu sois dédié à ton activité pour rester à la page hein.

Ayoub : Oui.

Médecin : Donc euh...c'est, ça va être dur de faire et mahorit aide opératoire poussé en radiologie interventionnelle et référent d'impression 3D.

Ayoub : Fin c'est trop de...

Médecin : Tu peux pas faire les deux !

Ayoub : Gérer les deux ça ne peut pas être quelque chose de possible.

Médecin : Voilà il faut choisir entre les deux. Mais la vie est faite de choix ! C'est ça à la base.

Ayoub : Haha

Médecin : Non mais c'est vrai !

Ayoub : Non mais oui oui.

Médecin : Donc un moment faut choisir.
Mais tant mieux si c'est des manips à la base.

Ayoub : Oui du coup comme ils ont cette connaissance là donc avec les compétences qu'ils ont dans l'imagerie ça les aides.

Médecin : Ça aide sur la partie segmentation, ça aide probablement sur la partie initiale de comment on en arrive là. Après encore une fois je pense que, est-ce que ça les aide d'être manip quand tu dois choisir entre le polymère je sais pas parce que c'est pas vraiment un enseignement que tu retrouves à l'école. Donc je pense qu'il faut être manip en salle interventionnelle mais aussi...

Ayoub : Mais ce plus de la formation.

Médecin : En fait, être curieux, de découvrir un autre truc encore. Parce que c'est vraiment rajouter une autre corde à ton arc quoi.

Ayoub : C'est ça ouais !

Médecin : Donc ça c'est important d'avoir un truc curieux pour aller chercher autre chose. Et se remettre parfois un peu dans la galère parce que tu découvres un autre domaine alors que t'étais probablement un bon.

Ayoub : Haha

Médecin : Non mais c'est ça !

Ayoub : Ouais t'étais bon dans ton domaine.

Médecin : Et tu te remets sur le bas de l'école, en disant bah là je suis une merde là dedans faut que je m'y remette. Et c'est pas toujours facile hein d'accepter de retourner en bas de l'échelle. De se retrouver seul. Ca correspond à certains profils, Samuel à un certain profil : curieux, il pouvait pas trop bouger en place il pouvait pas rester en place quoi. Hum.

Ayoub : Donc ouais y a un intérêt quoi à mettre les manips, les intégrer dans ce processus ?

Médecin : Ouais, et tu vois encore je me dis fin c'est très bien mais je peux pas mettre c'est pas comme circulant, c'est pas comme cadre, je peux pas mettre... je fin j'ai besoin entre guillemets dans un centre que d'un. Tu vois ? Fin, j'ai besoin d'avoir un gestionnaire d'impression 3D. Et tu peux pas mettre tous les manips en tournant comme on fait sur les postes.

Ayoub : Oui comme les postes classiques.

Médecin : C'est clairement pas un poste classique, c'est un poste dédié parce que bah c'est vraiment un autre, c'est quasiment un autre taff.

Ayoub : C'est un autre métier entre guillemets.

Médecin : C'est un autre métier dans lequel tu prends la compétence manip parce que tu as besoin au début, d'où viennent les images mais sinon. Et encore une fois je pense qu'il y a la partie manip du coup, on parle quasiment du poste de Samuel mais ce qui est bien aussi c'est que si tu as des manips qui sont aide opératoire avec des compétences sur la robotique ou ... On a développé un peu la robotique ou sur la simulation. Là il y a des manips qui sont qualifiés en hygiène, il y a des manips qui sont qualifiés en radioprotection, il y a des manips qui sont qualifiés en

aide opératoire robotique, il y a des manips qui sont qualifiés en aide opératoire voilà ça c'est des trucs qu'il faut prendre quoi.

Ayoub : Et du coup ça serait le même manip fait par exemple ici au CHU, le manip il fait l'impression 3D, la segmentation tout ça lié à l'imagerie et il en même temps il fait tout ce qui est aide opératoire ?

Médecin : Non justement moi je pense qu'il faut un manip qui est déjà travaillé qui fait l'impression 3D, qui s'occupe de l'impression 3D mais pas forcément que des cartouches de radiologie, y aura des cartouches de chirurgie vasculaire, des cartouches de RI (radiologie interventionnelle). Et puis il faut des manips, chacun des manips à une corde en plus qui va être soit l'hygiène, soit la radioprotection, soit la simulation. Il faut que chacun ait un pins en plus, l'image que je prends.

Ayoub : Ok.

Médecin : Ou un badge pour être plus moderne. Mais faut que chacun ait un pins, une tâche transversale qui soit son propre rôle. Et pas juste manip standard qui fasse que son taff. Voilà c'est ça dans l'idée.

Mais tu pourras pas faire, j'ai pas besoin de de trois manips formés en impression 3D, parce qu'en vrai y'a pas de permanence des soins pour l'impression 3D. Il y a pas besoin d'avoir 36 personnes qui sachent faire, il en faut une qui sache faire bien. Tu vois on peut même se poser sur la région : combien de Samuel Guigo il faut, je sais pas. Est-ce qu'il faut qu'il y ait un Samuel Guigo pour Angers, Nantes, Tours, Brest, Rennes ? Est-ce qu'il faut pas qu'il y en ait au moins dans trois centres et puis après...

Ayoub : Échanger entre eux.

Médecin : Bah ouais !

Ayoub : S'envoyer les demandes, parce que je pense que ça se fait entre CHU ?

Médecin : Bien sûr !

Il faut...on a des réseaux d'échanges entre les CHU du grand Ouest. Il faut en profiter quoi. Il y en a qui choisit de faire de la neuro, un qui choisit de faire de l'abdo.

Ayoub : Et chacun se spécialise entre guillemet ?

Médecin : Ouais c'est ça, parce que c'est peut être pas les mêmes contraintes, un chirurgiens vasculaire s'il veut une cartouche pédagogique, il va falloir qu'elle soit plus costaud. Il va faire un truc plus costaud, pas réactif ou au contraire peut être que nous on veut une cartouche de neuro très très spécifique. Après il y a toute une partie recherche sur l'impression 3D, parce que là on est partis sur l'ensemble des

enseignements soit générale soit patient-spécifique pour l'expert. Mais tu peux faire aussi de la recherche pure et dure et ça va être...

Ayoub : L'étude des matériaux et tout...

Médecin : Alors l'étude des matériaux ou même l'étude des dispositifs, c'est-à-dire que plutôt que de buter des cochons, on a qu'à imprimer 50 aortes, on essaie de trouver un nouveau matériel pour des endoprothèses et puis on va cramer 50 dispositifs d'endoprothèses différentes dans 50 aortes pour voir comment ça se plaque. On le met au scanner de recherche et là dans ces cas là c'est vraiment...la voie pas enseignement mais recherche. On a répondu à des appels à projets européens sur la robotique bah voilà on...plutôt que d'acheter des cadavres de cochons on a qu'à acheter des imprimantes 3D et puis on va faire imprimer des aortes.

Ayoub : Ouais donc y a quand même une évolution des techniques de soins et d'approche de la médecine ?

Médecin : Ouais nécessairement c'est plus disponible, c'est plus souvent sous la main, ça tue moins d'animaux. C'est très exportable euh...voilà donc après y a des problématiques d'acceptation...fin c'est que pour l'instant y a pleins de chapelles et du coup y a même pas de structure standard. Que ce soit sur les segmentations peut être que Samuel a abordé ça, il n'y a pas de format qui soit exactement. Y a pas de de tu vois Microsoft Word, c'est un standard tu l'aime ou tu l'aime pas tout le monde l'a. C'est vrai. Le DICOM c'est pareil que tu l'aime ou tu l'aime pas tout le monde l'a, tu es obligé de l'avoir. Donc ça c'est...mais en fait c'est standardiser c'est important pour échanger les images, le partage des images. Là dans l'impression 3D, y a pas trop de standard donc chacun va faire son truc, du coup ça développe pleins de petites solutions mais tant qu'on a pas un standard qui dit bah voilà on choisi tel polymère pour faire de la neuro pour tout le monde et tel format...

Ayoub : Protocoler le truc ?

Médecin : Normer, c'est pas protocoler c'est normer pour que du coup ça puisse...que tout le monde puisse jouer avec les mêmes armes, les mêmes polymères et partir dans plein d'autres directions.

Ayoub : Ok !

Médecin : Voilà mais un moment faudra passer par l'étape de normer pour que du coup on puisse même si c'est pas l'idéal, c'est le problème de la norme c'est que du coup tu fais un truc mais c'est pas...

Ayoub : Le truc bien.

Médecin : C'est pas forcément le truc bien, Microsoft Word c'est peut être pas le meilleur des traitement de texte mais il se trouve que bah c'est la norme. L'USB A c'est pareil c'est peut être pas l'idéal, l'USB C c'est peut être pareil un moment ça évite de consommer des câbles. Voilà donc ça il faudra passer par la norme dans l'impression 3D, ça c'est clair.

Ayoub : Ok.

Et vous vous pensez que plus tard intégrer l'impression 3D dans la formation de manip c'est quelque chose à envisager à l'avenir ?

Médecin : Bah l'impression 3D je sais pas, c'est-à-dire comme on disait la capacité à imprimer tes propres cartouches ça je sais pas que ça doit être une démarche peut être individuelle aidé par. Ce qui est sûr c'est qu'on utilisera l'impression 3D pour la formation des manips en radiologie interventionnelle. Comme la fait Jean Christophe là il y a quinze jours où il a pris ses manips pour les entraîner sur le simulateur de Samuel. Ouais ça c'est sûr que ça participera au chapitre enseignement de l'impression 3D. Encore une fois l'impression 3D c'est pas un but en soi mais c'est vraiment un nouveau vecteur d'apprentissage, c'est un atelier où tu mets les mains dedans, un atelier où t'apprends à manipuler. Voilà c'est des...ça permettra probablement aux manipulateurs de comprendre encore une fois les retours haptiques, comment on navigue, pourquoi ça peut prendre des heures à passer dans une artère. Voilà c'est...ça participera à l'approche mais ça permettra...c'est pas l'impression 3D, c'est pas le but de l'impression 3D mais c'est pas le vecteur. Ça n'est qu'un vecteur tu vois donc euh.

Ayoub : Et donc là y a déjà des manips qui sont formés sur... ?

Médecin : Sur le simulateur, plus sur l'impression 3D ?

Ayoub : Euh non, le simulateur ouais !

Médecin : Y a des manips qui savent comment l'installer, le désinstaller, rincer, dé rincer euh...ça fait longtemps qu'elles l'ont pas vu parce que j'étais pas là pendant 1 an et demi mais ouais ouais je pense qu'elles sont autonomes pour l'installer et le désinstaller. Pareil comme on avait pas de...pas trop de service après vente puisqu' on en était pas maître ça les freinaient à l'utilisation. Elles n'avaient pas envie de le casser donc du coup, elles faisaient gaffe et elles préféraient que j'en prenne la responsabilité.

Ayoub : D'attendre que vous soyez là !

Médecin : Ouais, c'est ça après moi j'ai jamais été opposé au fait qu'elles soient autonomes là dessus. C'est à vous faites en ce que vous voulez aussi tant que vous le cassez pas, pas de soucis quoi. Si vous voulez jouer avec des cathéters dedans

pas de problème. Au contraire, elles ont probablement plus le temps quand il y a des journées annulées ou des patients qui ne viennent pas. Bon ça nécessite un peu d'entretien, un peu d'installation mais voilà pour être majoritairement c'est encore, c'est encore un vecteur pour entraîner les aides opératoires.

Ayoub : Donc les manip qui voudraient faire aide opératoire, ils s'entraînent sur ça avec des médecins ?

Médecin : Bah ouais, au début avec des médecins mais après en autonomie, en vrai tu forme des manip à savoir manipuler l'instrument et puis après ils se regardent entre eux quoi. Donc voilà ça participe.

Ayoub : Je sais pas si c'est ce que j'ai vu dans une vidéo de vous que vous utilisez ?

Médecin : L'EVIAS ?

Ayoub : Oui voilà l'EVIAS !

Médecin : C'est ça, c'est le support, c'est la base support de l'impression 3D. Tu as...

Faut pas que je le fasse tomber. Ça n'a pas été ouvert depuis longtemps, il y a des moustiques. En fait, tu mets la cartouche là-dedans. Ah ouais la vache ça a pourris un peu, il y a des champignons. Ça n'a pas été ouvert quand j'étais pas là pendant un an et demi. Tu vois ils ont même imprimé en 3D les socles, ça c'était censé être le point de ponction fémorale. Avec la pente, on a choisi la pente. Pleins de petits trucs qu'on a choisis. L'avantage... y a un moment on a eu des problèmes de fuites et de compatibilité, ça c'était pour mettre des caillots. En fait, tu vois on avait toutes les pièces elles sont imprimées en 3D.

Ayoub : Ah ouais ok !

Médecin : Du coup on avait mis un caillot là-dedans.

Ayoub : Pour simuler un AVC.

Médecin : Oui un AVC !

Après tu vois faut quand même être, en fait l'impression 3D y a les choix des matériaux mais savoir aussi faire des pièces quoi. Et ça...

Ayoub : Surtout il faut qu'elles s'emboîtent, qu'elles se vissent entre elles.

Médecin : Tu vois faut quand même maîtriser leur outils d'impression quoi. Il y a derrière un peu d'ingénierie.

Ayoub : Ok.

Médecin : Ca c'est la crosse aortique au tout début.

Voilà donc ça c'était la machine.

Ayoub : Ok.

Médecin : Voilà après tu branche des trucs dessus, on branche soit la crosse aortique.

Faut que je remette ça à peu près bien. Et ça c'est que la partie encore émergée parce que du coup il faut tout le matos pour pouvoir jouer dedans après, les cathéters, les guides tout ça quoi.

Ayoub : C'est tout un ...

Médecin : Ouais ouais c'est un vrai champ à part. Probablement ça n'as pas fonctionné, fin j'ai pas réussi à maintenir le truc parce que justement j'ai de temps dédié à ça, à cette activité là donc euh...probablement si on avait eu comme avait fait Jean Christophe et un manip comme Samuel.

Ayoub : Quelqu'un dédié à ça et qui vous fait les retours derrière.

Médecin : Ouais c'est plus simple pour maintenir une activité.

Ayoub : Et là y a des manips qui sont intéressés par ça ?

Médecin : Pas plus que ça. On a investi d'autres champs avec le robot par exemple, le robot de cathétérisme donc ça ça été peut être plus investi que d'autres... C'est histoire du service, c'est pas que c'est des modes mais on a été précurseur un certain temps, il se trouve qu'on a pas pu maintenir plus que ça. Après c'est comme ça.

Ayoub : Et vous là vous allez relancer du coup ou ?

Médecin : Le simulateur, je vais le relancer, on va le réutiliser, on va former des internes du grand Ouest là-dessus. Il est possible que j'appelle Samuel pour former en décembre. J'aurai peut-être besoin de cartouches plus fraîches que celles que j'ai là. Donc je vais voir avec Samuel si on peut s'arranger mais pas de...on va pas relancer de papier sur...

Ayoub : Non non, mais est-ce que vous derrière vous allez utiliser de plus en plus ou ?

Médecin : Objectivement j'ai pas le temps. Voilà je vais être très clair. J'ai pas le temps, j'ai pas de temps dédié là-dessus. Il n'y a pas d'argent. Samuel et Jean Christophe ils ont choisi un modèle où ils sont autonomes et même financièrement,

en tout cas ils sont aidés. Moi j'ai pas de structure comme ça qui me permette de mettre de l'argent là dessus. Ça représente de l'argent...

Ayoub : Après c'est un investissement.

Médecin : Ouais mais j'ai pas d'argent, j'ai pas d'intérêt...fin mon CHU, il voit pas forcément le même intérêt. C'est comme ça.

Tu auras beau développer des idées mais t'as des contraintes budgétaires.

Ayoub : On est bloqué par l'argent.

Médecin : On a des contraintes, c'est quand tu es à cheval au milieu d'un champ avec des barrières autour, tu ne peux pas sauter au-dessus de la barrière.

Ayoub : Et il y a d'autres spécialités ici au CHU qui utilise l'impression 3D.

Médecin : Je sais pas trop, on avait approché les chirurgiens vasculaires et ils n'avaient pas non plus eu trop le temps. Je crois qu'ils n'ont pas vu le potentiel de l'impression 3D. Eux ils étaient partis sur autre chose, un truc plutôt numérique pour une planification opératoire numérique voilà. Le problème du numérique c'est que t'as pas le retour.

Ayoub : Tu n'as pas le touché.

Médecin : Tu n'as pas le toucher,

Ayoub : J'ai fais mon stage ici et j'ai travaillé ici cet été et je pense que le toucher ça doit être quelque chose.

Médecin : Bien sûr ouais. C'est la valeur ajoutée du truc. Et ça prend du temps, faut installer le truc, il faut avoir le matos, c'est sûr que...c'est comme ça

Ayoub : En fait, il faudrait une salle carrément dédiée à ça.

Médecin : Ouais il y a des projets d'installation de catlab plutôt orienté formation et recherche. Voilà ça fera partie de l'arsenal qu'il faut qu'il ait je pense. Mais après je ne sais pas s'ils vont faire.

Ayoub : Très bien, très bien !

Médecin : Alright !

Ayoub : Yes tout est good ! Est-ce que vous avez des choses à rajouter ou des commentaires à faire ?

Médecin : Bah non écoute. C'est bien de s'intéresser encore à ça je pense parce que ça à de beaux jours devant soi mais il y a une contrainte.

Ayoub : Bah en fait je pense que faut que le CHU comme vous disiez est une envie parce que c'est bien beau de d'avoir comme vous votre petit projet mais si derrière vous avez pas d'aide, des gens qui vous poussent ou qui vous aident financièrement.

Médecin : Bah ouais. Y a un autre truc ça serait que ça soit en fait quasiment remboursé mais là c'est faut qu'il y est un lobbying, la simulation globale en santé. Ça n'est qu'un axe de la simulation en santé. La simulation en santé ça va, ça peut être très large, ça peut être des ateliers avec des acteurs pour entraîner les médecins et les équipes paramédicales à l'annonce d'un diagnostic difficile, le facteur humain en santé. Ca c'est la simulation en générale on est qu'une sous partie de la situation tu vois ce que je veux dire et encore une fois l'impression 3D c'est un vrai vecteur de la simulation. Il faut que ça reste dans le grand chapiteau de la simulation, l'impression 3D : entraînement, enseignement...
Alright !

Ayoub : Merci beaucoup !

Médecin : Merci à toi !

Ayoub : Au revoir !

Médecin : Salut !

X. Abstract

NOM : EL MOURABIT

PRÉNOM : Ayoub

TITRE : Évaluation de la légitimité des manipulateurs en électroradiologie médicale à intégrer l'impression 3D dans leur pratique

Introduction : L'impression 3D est une technologie émergente, qu'on retrouve de plus en plus dans le milieu médical. C'est pourquoi j'ai voulu travailler sur cette technologie et essayer de comprendre si les manipulateurs en électroradiologie médicale auraient leur place dans celle-ci. La problématique à laquelle j'ai tenté de répondre est la suivante : **en quoi le manipulateur en électroradiologie médicale est-il légitime à intégrer les plateformes d'impression 3D ?**

Méthodologies : Pour répondre à la problématique, j'ai réalisé un questionnaire à destination des manipulateurs présents au sein des CHU utilisant l'impression 3D. Ainsi que deux entretiens avec une ingénieure biomédicale et un médecin radiologue. J'ai donc pu analyser ces données et en tirer des conclusions.

Résultats : Les données recueillies ont permis de mettre en évidence la notion de légitimité que pourraient avoir les manipulateurs en impression 3D. Néanmoins l'analyse montre que cette légitimité reste à consolider, du fait qu'il leur manque les compétences spécifiques à cette nouvelle technologie.

Conclusion : Mon étude indique donc clairement que les manipulateurs en électroradiologie sont légitimes à être intégrés dans le processus d'impression 3D à condition de suivre une formation en amont.

**TITLE : Assessment of the legitimacy of X-ray technicians in
integrating 3D printing into their practice**

Introduction : 3D printing is an emerging technology that is increasingly being used in the medical field. That's why I decided to work on this technology and try to understand whether X-ray technicians would have a place in it. The main question I set out to answer was : **in what way is the X-ray technician legitimate in integrating 3D printing platforms ?**

Methodologies : To respond to that problematic, I built up a questionnaire targeting the X-ray technicians working within the university hospitals using 3D printing. I also conducted two interviews with a biomedical engineer and a radiologist. I was then able to analyze the data and draw conclusions.

Results : The data collected highlighted the notion of legitimacy that 3D printing X-ray technicians could have. Nevertheless, the analysis has shown that this legitimacy is still limited by the fact that they lack the skills necessary for 3D printing handling.

Conclusion : Overall, my study points out that X-ray technicians can legitimately be involved in the 3D printing process, provided they undergo a specific training beforehand.

MOTS CLÉS : Les manipulateurs - compétences - impression 3D - légitimité - formation

KEYWORDS : X-ray technician - skills - 3D printing - legitimacy - training