

RAPPORT FINAL D'APPRENTISSAGE

Philips France, IGT – Mobiles Surgery

IDS 336 : Imagerie 3D intraopératoire :

Etat de l'art des arceaux mobiles au bloc opératoire, analyse concurrentielle et enjeux pour Philips France

Pouilly Elisa

Clinical Application Specialist Mobiles Surgery (MoS)

Master 2 Ingénierie De la Santé - Parcours Technologies Biomédicales et Territoires
de Santé

Université de Technologie de Compiègne, Année universitaire 2025-2026

Encadrants :

Maître d'apprentissage : Monsieur Nelson Rochedreux

Suiveur UTC : Monsieur Jean-Matthieu Prot

Remerciements

En préambule de ce mémoire de fin d'étude, je tiens à remercier et à montrer toute ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Merci plus particulièrement à mes directeurs de mémoire Monsieur PROT Jean-Matthieu et Monsieur ROCHEDREUX Nelson pour leurs conseils, leurs disponibilités et leur implication qui m'ont aidé à orienter et alimenter ma réflexion.

Merci à tous les formateurs de l'Université de Technologie de Compiègne pour ces deux années d'études et à mes camarades de promotion pour leur aide et leur soutien.

Je tiens à remercier chaleureusement Éloïse, Lauraly et Lauranne pour leur soutien, leur disponibilité et les nombreux échanges enrichissants tout au long de cette expérience. Pour leur accompagnement, leur bonne humeur et leurs conseils qui ont largement contribué à mon intégration et à la réussite de mes missions.

Enfin, mes remerciements les plus sincères à mon entourage pour leur soutien tout au long de ce mémoire :

À mes parents et mes sœurs, pour m'avoir toujours soutenus et encouragés dans mes études.

À Alexandra et Ines pour leur présence, leur patience, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de ce travail.

À mes amis et ma famille pour leur présence et leur implication à toutes les étapes et qui m'ont donné la force de persévérer.

Résumé

Imagerie 3D intraopératoire : état de l'art des arceaux mobiles au bloc opératoire, analyse concurrentielle et enjeux pour Philips France

Mots-clés : C-arm 3D mobile · CBCT · imagerie per-opératoire · benchmark concurrentiel · Clinical Application Specialist · Philips Zenition

Introduction. La technologie CBCT embarquée dans les arceaux mobiles permet désormais d'obtenir des reconstructions volumiques de qualité diagnostique directement au bloc opératoire. Dans ce contexte, Philips France, acteur reconnu sur le segment 2D avec sa gamme Zenition, reste absent du marché des C-arms 3D mobiles alors que ses concurrents y sont établis.

Méthode. Un état de l'art a été conduit en cinq étapes : cadrage du périmètre, veille bibliographique (plus de dix publications récentes), analyse clinique, construction d'une matrice benchmark multicritères et production d'un double livrable académique et terrain. Quatre systèmes ont été comparés sur plus de quinze critères.

Résultats. Les trois systèmes étudiés (GE HealthCare OEC 3D, Siemens Healthineers Cios Spin et Ziehm Imaging Vision RFD 3D) présentent des performances globalement similaires en matière de résolution spatiale et de taille de reconstruction. Les principales différences portent sur la puissance du générateur, les volumes d'acquisition disponibles ainsi que l'efficacité des algorithmes de réduction des artefacts métalliques (MAR). Par ailleurs, l'analyse de la littérature met en évidence l'intérêt clinique de l'imagerie 3D peropératoire, avec la détection de jusqu'à 25 % de malpositions en chirurgie rachidienne et des taux de révision peropératoire compris entre 11 et 36 % en traumatologie. Cette étude a également permis d'identifier plusieurs atouts technologiques et cliniques déjà présents dans l'offre Philips, pouvant constituer une base solide pour un futur positionnement sur ce marché.

Conclusion. L'imagerie 3D mobile s'affirme progressivement comme une référence dans de nombreuses procédures chirurgicales. Dans ce contexte, le développement d'une solution Philips sur ce segment apparaît comme un enjeu stratégique majeur afin de répondre aux évolutions des pratiques cliniques et de renforcer la compétitivité de l'entreprise sur un marché en forte croissance.

Abstract

Intraoperative 3D imaging: state of the art of mobile C-arms in the operating room, competitive analysis and strategic implications for Philips France

Keywords: Mobile 3D C-arm · CBCT · intraoperative imaging · competitive benchmark · Clinical Application Specialist · Philips Zenition

Introduction. CBCT technology embedded in mobile C-arms now enables diagnostic-quality volumetric reconstructions directly in the operating room. In this context, Philips France, a recognised player in the 2D segment with its Zenition range, remains absent from the mobile 3D C-arm market while its competitors are already well established.

Method. A state of the art was conducted in five steps: scope definition, bibliographic review (more than ten recent publications), clinical analysis, construction of a multi-criteria benchmark matrix, and production of a dual deliverable for both academic and field use. Four systems were compared across more than fifteen criteria.

Results. The three systems evaluated (GE OEC 3D, Siemens Cios Spin, and Ziehm Vision RFD 3D) demonstrated broadly comparable performance in terms of spatial resolution and reconstruction matrix size. The main differences were related to generator power, acquisition and reconstruction volumes, and the effectiveness of metal artifact reduction (MAR) algorithms. The literature review highlighted the clinical value of intraoperative 3D imaging, with up to 25% of implant malpositions detected during spine surgery and intraoperative revision rates ranging from 11% to 36% in trauma procedures. The study also identified several existing technological and clinical strengths within Philips' portfolio that could support a future positioning in this market segment.

Conclusion. Mobile 3D imaging is increasingly becoming a clinical standard in a growing number of surgical procedures. In this context, Philips' entry into this market represents a major strategic opportunity to address evolving clinical needs and strengthen its competitiveness in a rapidly expanding and increasingly demanding sector.

Sommaire

Remerciements	1
Résumé	2
Abstraction	2
Sommaire	3
Abréviations	4
Introduction	5
I. Présentation de l'organisme d'accueil dans son environnement	5
I.1. Philips Healthcare : histoire et transformation stratégique	5
I.2. Philips France : organisation et structure	6
I.3. Étude de marché : le marché européen des arceaux mobiles	8
II. État de l'art de l'imagerie mobile 3D intra opératoire	9
II.1. Contexte : de la fluoroscopie 2D à la 3D mobile	9
II.2. Technologie CBCT : principe physique et composants	9
II.2.1. Architecture d'un C-arm : composants	9
II.2.2. Principe de reconstruction : de la projection au volume	11
II.2.3. Paramètres techniques déterminants de la qualité de la 3D	11
II.2.4. D'un volume 3D à l'usage clinique : MPR et post-traitement	12
II.3. Applications cliniques	12
II.3.1. Chirurgie rachidienne	12
II.3.2. Chirurgie traumatologique et orthopédique prothétique	13
II.3.3. Chirurgie vasculaire interventionnelle	13
II.3.5. Chirurgie maxillo-faciale et ORL	14
II.3.6. Pneumologie interventionnelle : nouvelle application	14
II.4. Enjeux dosimétrique et réglementaires	14
II.4.1. Dosimétrie des C-arms 3D : principes et indicateurs	14
II.4.2. Contraintes réglementaires en France	15
II.5 Benchmark concurrentiel des C-arms 3D	15
II.5.1. GE Healthcare (GEHC) : OEC 3D	15
II.5.2. Siemens Healthineers : Cios Spin	16
II.5.3. Ziehm Imaging : Vision RFD 3D	16
II.5.4. Philips : Positionnement actuel et futur	16
II.5.5. Synthèse de la matrice benchmark (Tableau 2)	17
II.6. Innovations et tendances : vers l'imagerie 3D augmentée ?	21
II.6.1. Intelligence artificielle et automatisation	21
II.6.2. Navigation chirurgicale couplée au C-arm 3D	22
II.6.3. Robotique chirurgicale et C-arm 3D	22
II.6.4. Fusion d'images et réalité augmentée	22
II.6.5. Tendance vers des systèmes hybrides miniaturisés	22
III. Missions réalisées : rôle du CAS et conduite de l'état de l'art	23
III.1. La fonction de CAS : croisement technique, clinique et pédagogique	23
III.2. Méthodologie de l'état de l'art : par l'approche processus	23
III.3. Résultats, indicateurs de succès et limites	24

III.3.1. Résultats obtenus	24
III.3.2. Limites et pistes d'amélioration	24
IV. Bilan personnel et professionnel	25
IV.1. Compétences acquises et développées	25
IV.1.1. Compétences techniques	25
IV.1.2. Compétences cliniques et relationnelles	25
IV.1.3. Compétences analytiques et stratégiques	25
IV.2. Articulation formation théorique et pratique	25
IV. Compétences restant à développer et projet professionnel	27
Conclusion	27
Bibliographie	28
Annexe	29

Abréviations

CAS : Clinical Application Specialist (Ingénieur d'application clinique)

CBCT : Cone Beam Computed Tomography (Tomographie volumique à faisceau conique)

B2B : Business to Business

CT : Computed Tomography

C-arm : Arceau mobile de chirurgie en forme de C

DICOM : Digital Imaging and Communication in Medicine

DM : Dispositif Médical

FPD : Flat Panel Detector (Capteur plan numérique)

KOL : Key Opinion Leader

IA : Intelligence Artificielle

IBODE : Infirmier de Bloc Opératoire Diplômé d'État

IGT : Image Guided Therapy (Thérapies guidées par l'image)

KAM : Key Account Manager

MAR : Metal Artifact Reduction (Réduction d'artefacts métalliques)

MERM : Manipulateur d'Électroradiologie Médicale

MSS : Modality Sales Specialist

MoS : Mobiles Surgery (Mobile de chirurgie)

MPR : Multi-Planar Reconstruction

R&D : Recherche et Développement

3D : Trois dimensions

Introduction

L'imagerie per-opératoire fait partie intégrante de la chirurgie moderne. Depuis les années 1950, C-arm, l'arceau mobile à rayons X, offre aux chirurgiens un guidage en temps réel, rendant alors possible l'essor des chirurgie mini-invasive[1]. Aujourd'hui, elle franchit une nouvelle étape en intégrant désormais de l'imagerie tridimensionnelle au sein des bloc opératoire.

La technologie Cone Beam Computed Tomography (CBCT) embarqué dans les C-arm permet d'obtenir des reconstruction d'un volume de qualité diagnostic, sans sortir du bloc opératoire. Le parcours du patient est alors transformé : il n'y plus de de transfert vers un service d'imagerie. La dose est maîtrisée. Jusqu'alors réservée aux salles de radiologie ou bloc hybrides fixes, on observe un changement de paradigme : l'imagerie 3D devient plus accessible , mobile et intégrée au geste chirurgical[2].

Ainsi, c'est dans ce contexte que mon apprentissage au sein de Philips France en tant que Clinical Application Specialist (CAS) au sein de l'équipe Mobiles Surgery (MoS). Philips est un acteur reconnu sur le marché des arceaux 2D avec sa gamme Zenition, mais reste absent du segment des C-arms 3D mobiles. Cette situation est un enjeu stratégique : comment se préparer à un marché sur lequel les concurrents sont déjà présents ?

La problématique de ce mémoire est la suivante : dans un marché où l'imagerie 3D intraopératoire mobile devient un standard attendu, quels sont les fondements technologiques, les usages cliniques, les enjeux réglementaires et dosimétriques, et les axes de différenciation concurrentielle qui doivent guider le positionnement de Philips France sur ce segment ?

Ce rapport s'organise en trois parties. La première présente Philips dans son environnement sectoriel et concurrentiel. La seconde est un état de l'art des C-arms 3D mobiles. La troisième partie est un bilan personnel et professionnel de cette expérience en apprentissage.

I. Présentation de l'organisme d'accueil dans son environnement

I.1. Philips Healthcare : histoire et transformation stratégique

Philips Healthcare est une division du groupe néerlandais Royal Philips N.V., fondé en 1891 par Gerard et Anton Philips à Eindhoven[3]. D'abord spécialiste de la fabrication de lampes à filament de carbone, l'entreprise s'est progressivement

diversifiée dans l'électroménager, la radiodiffusion et les équipements médicaux pour finalement devenir un acteur mondial[3].

Dans les années 1930, Philips se fait connaître grâce à ses innovations dans la télévision à haute définition, et révolutionne l'industrie musicale dans les années 1980 avec le développement du CD. Après la Seconde Guerre mondiale, l'entreprise néerlandaise s'engage dans une expansion internationale de grande ampleur en consolidant son expertise technologique.

Depuis les années 2000, sous la direction de Frans van Houten, Philips change sa stratégie en se concentrant sur le secteur de la santé en cessant ses activités Consumer Lifestyle et Lightning pour être purement acteur de technologie médicale.

À ce jour, Philips est un leader mondial de la santé numérique et de l'innovation médicale. L'entreprise emploie 67 800 collaborateurs et génère un chiffre d'affaires de 18,0 milliards d'euros. 1,7 milliard d'euros sont consacrés à la R&D en 2024, dont la moitié à l'implémentation de l'Intelligence Artificielle (IA) dans les environnements hospitaliers et domestiques[3].

En octobre 2025, Sa Majesté la Reine Máxima des Pays-Bas a inauguré le nouveau siège mondial durable de Philips à Amsterdam, symbole de l'ambition de l'entreprise de façonner le futur de la santé à l'échelle mondiale.

I.2. Philips France : organisation et structure[4]

En France, Philips s'implante au début du XXème siècle avec ses lampes électriques. En 2018, Philips ouvre un centre de recherche spécialisé dans l'IA appliquée à l'imagerie médicale, le Healthcare Innovation Paris, avec notamment un focus sur la cardiologie, l'oncologie et les maladies rares.

Actuellement, Philips France est basé à Suresnes et est dirigé par Nathalie Guevel, fraîchement nommée en décembre 2025, Zone Leader and Commercial Director Health System.

L'entreprise se structure autour de pôles principaux :

- Healthcare : dispositifs médicaux d'imagerie lourde (IRM et scanner), d'imagerie interventionnelle et de monitoring patient
- Customer Lifestyle : produits destinés au bien-être et à la santé quotidienne

La division Healthcare comprend 3 segments :

- Hospital Patient Monitoring (HPM) : solutions de surveillance patient
- Imaging : équipements d'imagerie (scanners CT, IRM, radiologie conventionnelle DXR)

- Image-Guided Therapy (IGT) : solution de thérapies guidées par l'image, incluant les salles fixes, les arceaux mobiles, les systèmes IVUS et les consommables.

Le secteur IGT se divise selon 3 branches formant l'approche intégrée "One IGT" :

- IGT-system : salles fixes de chirurgies interventionnelles, qu'elles soient hybrides, vasculaire ou dédiée à la coronarographie
- IGT-D (devices) : dispositifs de diagnostic, de guidage et de traitement mini-invasifs pour les procédures vasculaires, cardiovasculaires, neurovasculaires et interventionnelles
- IGT-MoS : arceaux mobiles pour le bloc opératoire

L'équipe IGT-MoS est managée par le Team Leader MoS France et comprend :

- Le manager : gestion des équipes IGT-MoS
- Modality Sales Specialist (MSS) : experts du produit, ils développent des arguments de vente et procèdent aux démonstrations d'avant-vente
- Clinical Application Specialist (CAS) : ingénieurs d'application collaborant avec les équipes commerciales et techniques
- Key Account Manager (KAM) : ils identifient les opportunités de marché. Ils appartiennent à la division Sales et sont sous la direction des Districts Leader.

La figure ci-dessous (Figure 1) permet de représenter la hiérarchie à laquelle je suis rattachée, tant que CAS MoS :

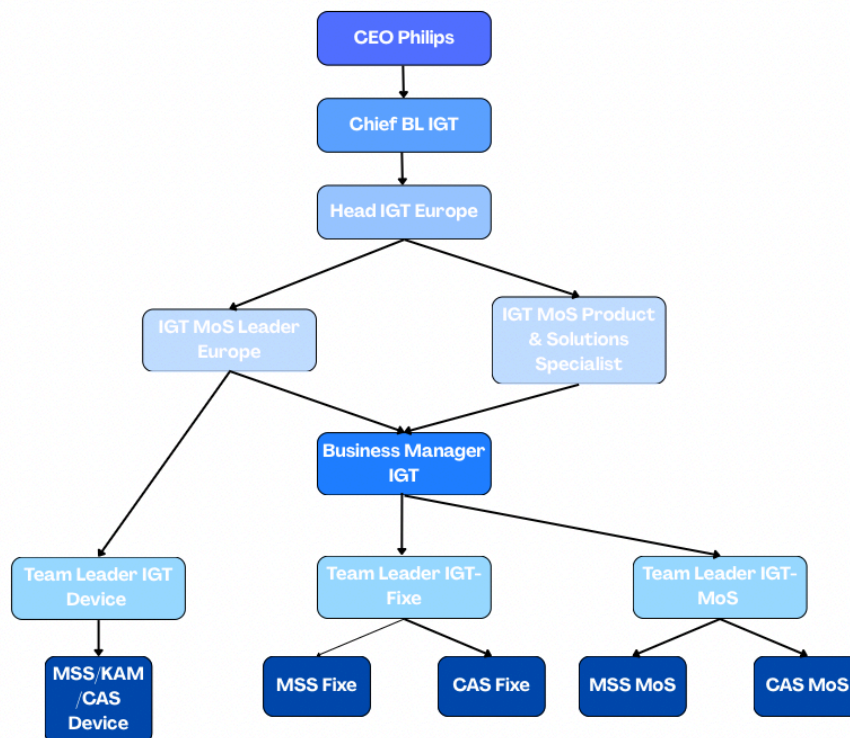


Figure 1 : Organigramme Philips de l'activité IGT Europe, Source : auteur

I.3. Étude de marché : le marché européen des arceaux mobiles

En 2021, le marché européen des arceaux mobiles représentait 2,02 milliards USD. Il devrait atteindre 3,08 milliards USD en 2029[5], porté par l'essor des techniques mini-invasives, les progrès technologiques, le vieillissement de la population. A ce jour, le frein reste le coût élevé de ces systèmes.

Le segment dominant est l'orthopédie, suivi de la chirurgie vasculaire et la neurochirurgie[5].

Pour Philips, ce contexte révèle un paradoxe stratégique : reconnu sur la 2D, l'entreprise reste absente sur le segment de la 3D. L'arrivée prochaine de la 3D crée un enjeu d'anticipation : construire une base de connaissance interne sur les concurrents et se préparer pour se positionner en capitalisant sur les atouts de ma gamme Zenition déjà existants.

II. État de l'art de l'imagerie mobile 3D intra opératoire

II.1. Contexte : de la fluoroscopie 2D à la 3D mobile

Initialement utilisé comme outil d'imagerie 2D fluoroscopique, C-arm produit une imagerie de projection de l'anatomie, superposant l'ensemble des structures traversées. Si cette représentation semble suffisante pour de nombreuses applications, elle présente des limites intrinsèques : impossibilité d'évaluer la profondeur, la superposition des structures et limite ainsi la précision.

La tomodensitométrie conventionnelle (scanner CT), donne une imagerie volumique mais implique un passage en service de radiologie. La naissance du C-arm 3D, début des années 2000, répond au besoin de reconstruction volumique au sein même du bloc opératoire.

Les premiers mobiles 3D apparaissent dès 2004, chez Siemens avec l'Arcadis Orbic 3D[6] et le Ziehm Vision FD 3D. GE propose l'OEC 3D pour entrer sur ce segment, Siemens développe son portefeuille avec le Cios Spin. En une rotation autour du patient, ces systèmes acquièrent des projections ensuite reconstruites en un volume 3D : c'est le principe du CBCT.

Définition : CBCT (Cone Beam Computed Tomography)

Technique d'imagerie volumique dont le principe repose sur l'acquisition de projection 2D sur une rotation de la source de rayons X et du détecteur autour du volume d'intérêt. Le volume en 3D est calculé à partir d'un algorithme de reconstruction (rétroprojection filtrée ou itératif). Le CBCT utilise un faisceau conique et non un faisceau en éventail comme sur le scanner hélicoïdal). Il utilise également un détecteur plan large, le rendant plus compact et compatible avec les MoS.

II.2. Technologie CBCT : principe physique et composants

II.2.1. Architecture d'un C-arm : composants[1]

L'architecture d'un arceau mobile 3D repose sur le principe qu'un C-arm 2D : tube à rayons X, générateur, détecteur, à laquelle s'ajoutent les éléments spécifiques à la 3D.

Le tube à rayons X

Le tube à rayons X (Figure 2) est le cœur du système. Celui-ci est une enceinte hermétique sous vide contenant 2 électrodes principales : la cathode, électrode négative qui émet des électrons lorsqu'elle est chauffée (effet thermoélectronique),

et l'anode, électrode positive qui reçoit les électrons et produit les rayons X. Environ 99 % de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur, seulement 1 % se transforme en rayons X, c'est pourquoi l'anode est le plus souvent rotative pour distribuer la charge thermique et permettre des acquisitions 3D.

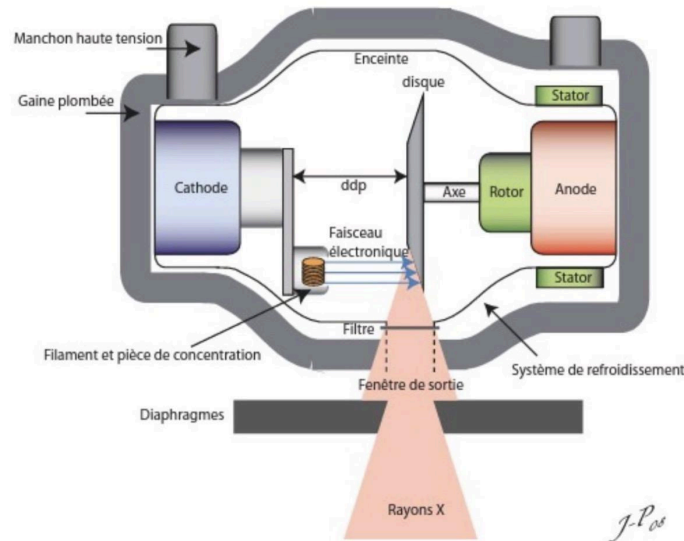


Figure 2 : éléments constitutifs du tube à rayons X [1]

Le générateur haute tension

La puissance du générateur (en kilowatts, kW) conditionne la qualité de la reconstruction 3D. Les C-arm 3D mobiles atteignent jusqu'à 30 kW. Puis la puissance est élevée, plus le rapport signal/bruit est augmenté et plus l'acquisition est rapide. La tension, en kV, détermine l'énergie des photons, c'est-à-dire leur pouvoir de pénétration, et l'intensité, en mA, détermine la quantité de photons.

Le détecteur plan (FPD)

Le détecteur plan numérique (Flat Panel Détecteur, FPD) différencie les C-arms contemporains des anciens à amplificateur de brillance. Son principe repose sur une chaîne de conversion du signal indirect : les rayons X sont convertis en lumière visible par une couche scintillante riche en iodure de césium dopé au thallium (CsI:TI). La lumière est captée par une matrice de photodiodes en silicium amorphe couplée à des transistors à couches minces (TFT), qui convertissent ainsi l'énergie lumineuse en signal électrique numérisée.

La taille du FPD conditionne le champ de vue (Field of view, FOV) de l'acquisition 2D ou 3D.

La motorisation du bras en C

La 3D nécessite une rotation automatisée et reproductible du bras autour du patient. Typiquement de 190° à 220° , elle se réalise en 30 à 60 secondes. Elle doit être isocentrique, contrôlée en vitesse angulaire pour garantir l'acquisition régulière des projections et réduire les artefacts de mouvement.

II.2.2. Principe de reconstruction : de la projection au volume

La rétroprojection filtrée (FBP — Filtered Back Projection)

Méthode de reconstruction d'image algorithmique reposant sur le théorème de Fourier. Elle consiste à « projeter en arrière » les données acquises sous différents angles après leur application à un filtre mathématique (filtre de Ram-Lak ou variantes) qui réduit le flou intrinsèque à la rétroprojection simple. Bien que rapide en calcul, il est sensible au bruit et aux géométries irrégulières.

La reconstruction itérative

Technique de reconstruction d'image plus performante que la FBP car elle améliore la qualité image en comparant de façon répétée l'image reconstruite aux données réellement mesurées. À chaque itération, l'algorithme corrige les écarts entre l'image calculée et les données acquises jusqu'au résultat le plus fidèle possible. Elle permet de diminuer la dose de rayonnement et de conserver une bonne qualité d'image, tout en réduisant les artefacts et le bruit.

La correction des artefacts métalliques (MAR)

Le métal (prothèse, vis, plaques..) génèrent des artefacts de reconstructions qui peuvent masquer des informations sur l'anatomie adjacente. Les algorithmes MAR détectent ces zones métalliques sur les projections et les remplacent par des valeurs interpolées puis reconstruisent le volume.

II.2.3. Paramètres techniques déterminants de la qualité de la 3D

Plusieurs paramètres influent directement sur la qualité de la 3D (Tableau 1) :

Paramètre	Définition
FOV (cm)	Champ de vue du volume reconstruit. Conditionne les régions anatomiques accessibles.
Résolution spatiale (mm)	Taille minimale d'un détail visible.
Puissance générateur (kW)	Conditionne la dose et la vitesse d'acquisition.
Durée de rotation (s)	Temps d'acquisition pour 1 rotation complète. Remarque : plus la rotation est rapide, moins il y a d'artefacts de mouvement.
Nombre de projections	Détermine la qualité de reconstruction vs dose. Compromis à optimiser.
CTDIw (mGy)	Indice de dose volumique pondéré.
Algorithme MAR	Réduction des artefacts métalliques. Essentiel pour chirurgie orthopédique.
Temps de reconstruction (s)	Délai entre fin de l'acquisition et l'affichage du volume 3D.

II.2.4. D'un volume 3D à l'usage clinique : MPR et post-traitement

II.3. Applications cliniques

L'imagerie 3D per-opératoire s'inscrit dans de nombreuses spécialités chirurgicales autour de 3 bénéfices fondamentaux : l'amélioration de la sécurité du patient grâce à un suivi en temps réel, l'augmentation de la précision du geste, et la réduction du taux de reprises chirurgicale, dans un contexte de transformation du parcours du patient.

II.3.1. Chirurgie rachidienne

Une des indications la plus fréquente est celle de la chirurgie du rachis. La pose de vis pédiculaires par exemple requiert un guidage millimétrique dans un corridor

osseux, dont la perforation expose à des risques de complications neurologiques et vasculaires graves.

Des études prospectives montrent que le contrôle 3D en per-opératoire permet la détection de 10 à 25 % des malpositions de vis pédiculaire, conduisant à la correction immédiate dans 50 % de ces cas[7], [8].

Parmi les applications cliniques de la chirurgie rachidienne par les MoS 3D : chirurgie décompression et fusion lombaire : sténose canalaire, spondylolisthésis, chirurgie de la scoliose, traumatologie du rachis (fractures) ou encore arthroplastie.

Exemple clinique : Fusion L4-L5

Lors d'une fusion L4-L5 pour spondylolisthésis, le chirurgien pose 4 vis pédiculaires sous contrôle fluoroscopique 2D, puis lance une acquisition 3D automatisée. Le volume reconstruit en moins de 60 secondes permet de vérifier la position de chaque vis dans les trois plans, de confirmer l'absence de perforation corticale et de valider la hauteur du cage intersomatique avant fermeture. En cas de malposition détectée, la correction est réalisée dans le même temps opératoire, évitant une reprise chirurgicale.

II.3.2. Chirurgie traumatologique et orthopédique prothétique

Le second segment d'application de la 3D est la traumatologie. Certaines fractures complexes rendent la vérification en 2D limitante pour garantir un traitement réduit et une fixation optimale.

La 3D permet de détecter les fragments osseux intra-articulaires, leur localisation précise, de qualifier la qualité de la réduction articulaire, et vérifier le positionnement du matériel (plaques, vis...) mis en place. Plusieurs études documentent l'impact du contrôle 3D per opératoire sur le taux de révision chirurgicale immédiate. Atesok et al. rapportent un taux de révision de 11 % sur 72 fractures intra-articulaires[9]. Rupp et al. (2022), dans une série de 1 841 patients, on observe un taux global de 19,1 %, atteignant 36% pour les fractures du calcanéum et 24,8 % pour le plateau tibial.”[10]

Également utilisé en chirurgie orthopédique prothétique (prothèse totale de hanche, de genou, d'épaule), le contrôle 3D trouve sa place. Par exemple, l'orientation de la cupule acétabulaire lors de l'arthroplastie de hanche — dont les paramètres d'inclinaison et d'antéversion doivent être dans des plages précises pour éviter luxation et usure prématurée — est difficile à contrôler en 2D de façon fiable. Le contrôle 3D per-opératoire apporte une vérification immédiate de ces paramètres.

II.3.3. Chirurgie vasculaire interventionnelle

La 3D en chirurgie vasculaire permet des reconstructions angiographiques lors des procédures de traitement endovasculaire comme sur les anévrismes de l'aorte abdominale, neuro vasculaire, etc. L'injection de produit de contraste iodé est nécessaire et doit être synchronisée avec la rotation du bras en C. Cela permet des reconstructions 3D de la lumière du vaisseau.

La 3D ouvre la voie à des traitements davantage personnalisés pour le choix de la prothèse avec une planification per-opératoire et vérifie l'absence de fuite, rendant l'intervention plus précise.

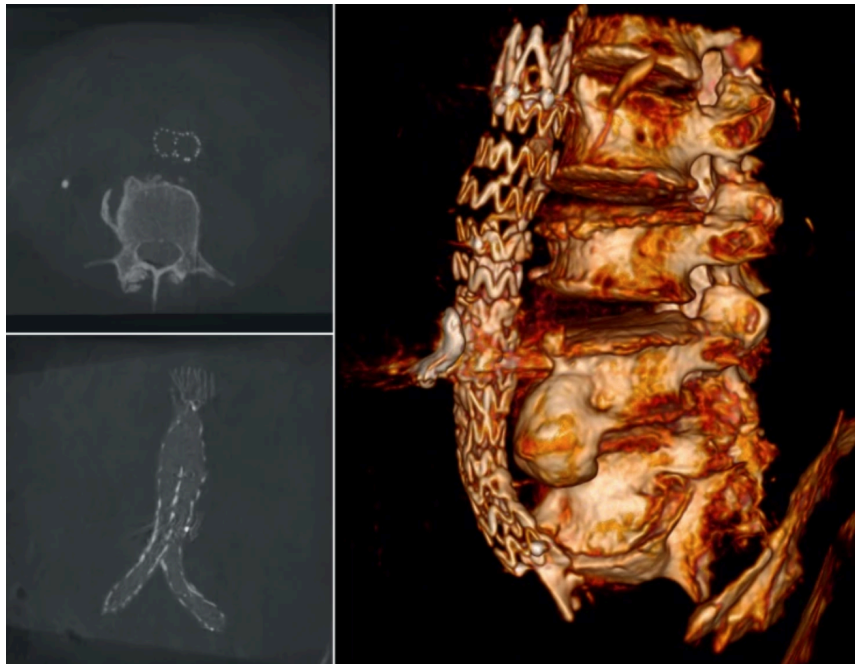


Figure 3 : Contrôle peropératoire du positionnement d'endoprothèse vasculaire par fusion d'images, coupes axiale (haut gauche), coronale (bas gauche) et reconstruction volumique 3D (droite) (Ziehm Vision RFD 3D) (Source : Ziehm)

II.3.5. Chirurgie maxillo-faciale et ORL

La 3D trouve de nouvelles applications en chirurgie maxillo-faciale et ORL, comme pour la pose d'implants cochléaires. Encore peu répandues, ces nouvelles possibilités illustrent la polyvalence croissante de ces systèmes.

II.3.6. Pneumologie interventionnelle : nouvelle application

La pneumologie interventionnelle illustre la rupture clinique apportée par la 3D mobile. Nécessitant jusqu'alors un scanner ou une salle fixe, les biopsie de nodules pulmonaire et leur traitement chirurgical se croisent alors au bloc opératoire : la

divergence entre la position pré opératoire et la position réelle per-opératoire s'efface, et le parcours du patient est réduit.

II.4. Enjeux dosimétriques et réglementaires

II.4.1. Dosimétrie des C-arms 3D : principes et indicateurs

L'intégration de l'acquisition en 3D implique forcément l'augmentation de la dose délivrée au patient. La maîtrise de cette dose est un enjeu pour la validation clinique de ces systèmes.

Une seule rotation de 200 projections délivre une dose équivalente à plusieurs centaines d'images fluoroscopiques.

Plusieurs indicateurs dosimétriques sont utilisés :

- **CTDI_w** (Weighted Computed Tomography Dose Index, en mGy) : indice dosimétrique représentant la dose moyenne délivrée sur une coupe de scanner, en tenant compte de la dose au centre et en périphérie du fantôme.
- **DLP** (Dose Length Product, en mGy·cm) : indicateur de la dose totale délivrée lors d'un examen scanner, obtenu en multipliant le CTDI_w par la longueur explorée.
- **Kerma** à l'air de référence (en mGy) : quantité d'énergie transférée par les rayonnements X à l'air en un point de référence défini, utilisée pour estimer l'exposition du patient lors des procédures interventionnelles.

Certains fabricants proposent des protocoles faible dose qui permettent de réduire de 30 à 50 % la dose par rapport aux protocoles standard. Cependant, ces protocoles dégradent le rapport signal/bruit;

II.4.2. Contraintes réglementaires en France

En France, les DM d'imagerie sont soumis au Règlement européen sur les dispositifs médicaux (MDR 2017/745), entré en application en mai 2021, ainsi que la réglementation de radioprotection issus du Code de la santé publique et du code du travail.

Le MDR classe les C-arm 3D en classe IIb : réglé 10 : dispositif émettant des rayonnements ionisants à des fins diagnostiques. Ils doivent donc faire l'objet d'une évaluation clinique documentée démontrant leurs performances, leur sécurité et disposer d'un marquage CE délivré par un organisme notifié.

D'un point de vue de la radioprotection, le décret du 4 juillet 2001 (transposant la directive EURATOM 96/29) impose la désignation d'une Personne Compétente en Radioprotection (PCR) dans tout établissement utilisant des rayonnements ionisants, la réalisation d'évaluations dosimétriques périodiques, et la mise en place de

protocoles optimisés selon le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable)[11].

Aussi, l'utilisation de C-arms dans le bloc opératoire exige le port d'équipement de protection individuel : tablier plombé, cache-thyroïde ; et le port d'équipement de surveillance : dosimètres passifs et opérationnels.

II.5 Benchmark concurrentiel des C-arms 3D

II.5.1. GE Healthcare (GEHC) : OEC 3D

GE s'est imposé comme leader des C-arm avec l'acquisition de OEC (Orthopedic Equipment Compagny), référence en orthopédie. La gamme OEC se compose de trois lignes complémentaires : l'OEC One (compact, entrée de gamme), l'OEC Élite CFD (haut de gamme en 2D), et le OEC 3D.

Avec un FOV de 30x30 cm, l'OEC 3D s'adapte aussi bien en orthopédie/traumatologie que sur des applications rachidiennes. Son écosystème de connectivité, l'interface OEC Open, compatible avec 8 systèmes dont la robotique, la navigation et la réalité augmentée démontre sa force dans un marché où l'intégration de système de navigation est un critère d'achat.

En 2024, GEHC marque une évolution majeure des applications de la 3D avec l'intégration de Lung Suite [12] qui permet la réalisation d'acquisitions pulmonaires 2D et 3D. GEHC se positionne en pionnier sur un nouveau segment à fort potentiel.

Les points forts de GE sont sa notoriété en orthopédie, son écosystème d'interopérabilité le plus large du marché, l'innovation en pneumologie interventionnelle. Néanmoins, la qualité d'image reste perfectible sur l'entrée de gamme.

II.5.2. Siemens Helthineers : Cios Spin

Le produit phare de Siemens est le Cios Spin[13]. Offrant la meilleure performance de reconstruction volumique du marché, il dispose d'une puissance de 25 kW qui se triple grâce à une unité de stockage d'énergie garantissant alors une constance du faisceau.

La gamme Cios dispose d'une fonctionnalité analogue à la Position Memory de Philips sur la gamme Zenition. Cette fonctionnalité permet de retrouver plusieurs positions afin de permettre la reproductibilité des rotations.

Le Cios Spin est réputé pour sa robustesse sur la reconstruction 3D sur les patients porteur d'implants métallique grâce à son algorithme iMAR (itérative Métal Artifact Reduction)

Ses points forts résident donc dans la maturité et la performance de la 3D, la puissance du générateur et l'iMAR. Cependant, la gamme peut parfois être perçue complexe.

II.5.3. Ziehm Imaging : Vision RFD 3D

Historiquement exclusivement expert en arceaux mobiles, Ziehm se distingue en imagerie vasculaire. Le vision RFD 3D se positionne comme alternative pertinente à une salle hybride pour les activités endovasculaires.

Atteignant jusqu'à 30 kW de puissance grâce à un condensateur, il embarque un capteur CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor). Ces capteurs apportent un meilleur rapport signal/bruit et une lecture plus rapide.

Le Ziehm Solo FD représente une autre innovation : il s'agit de l'un des C-arms les plus compacts du marché, avec un design tout-en-un ne nécessitant pas de chariot moniteur séparé. Cette compacité est un avantage opérationnel significatif dans des blocs opératoires dont l'espace est contraint.

II.5.4. Philips : Positionnement actuel et futur

À ce jour, Philips ne propose pas de mobile 3D commercialisée.

Lancée en 2019, la gamme Zenition, composée de six modèles allant du Zenition 10 au Zenition 90 Motorisé (haut de gamme), couvre le spectre des C-arms 2D[14]. Polyvalent multi-spécialité et ergonomie primée et algorithme différenciant sont les points forts de la gamme.

La vulnérabilité de l'entreprise néerlandaise réside dans l'absence de système 3D. Les équipes terrains sont changées sur les capacités 3D de Philips sans pouvoir apporter de réponse opérationnelle. L'état de l'art réalisé dans le cadre de cette mission prépare les équipes à répondre à ces sollicitations et à anticiper le positionnement futur de la solution Philips.

L'arrivée prochaine d'une solution 3D crée un enjeu stratégique d'anticipation : définir le positionnement différenciant sur ce segment en capitalisant sur les forces existantes.

II.5.5. Synthèse de la matrice benchmark (Tableau 2)

Bloc 1 — Synthèse technique

Critère	GE OEC 3D[15]	Siemens Cios Spin[13]	Ziehm Vision RFD 3D[16]	Philips (futur)
Type de capteur	FPD CsI:TI, conversion indirecte standard.	FPD CMOS IGZO proposé pour le CIARTIC MOVE	CMOS IGZO proposé	FPD CsI:TI attendu — base technologique Zenition. Évolution CMOS possible selon roadmap.
Taille du détecteur	30 cm × 30 cm.	30 cm × 30 cm .	31 cm × 31 cm	À définir.
Résolution spatiale 3D	~0,5 mm isotrope. 512 ³ voxels	~0,4 – 0,5 mm isotrope 512 x 512 x 512 voxels .	~0,4 mm isotrope pixel de 100 µm 512 x 512 x 512 voxels	À définir.
Puissance générateur	Non publiée officiellement. Estimée ~15-20 kW.	25 kW + unité de stockage d'énergie (batterie) triplant la puissance disponible en pic.	30 kW	À définir.
Durée de rotation 3D	~40-60 s pour une rotation	~30-60 s	48 s pour une rotation complète de 180°(+2 min de temps de préparation)	À définir.
Angle de rotation 3D	200° isocentrique	+/- 100° Isocentrique	180° isocentrique	
Nombre de projections	~200-400 projections	jusqu'à 400 projections.	~200 projections	À définir.

selon protocole. Compromis dose/qualité réglable par l'opérateur.	Protocoles basse dose disponibles (~100 projections) avec reconstruction itérative.	(standard). Protocoles adaptés à la vasculaire avec injection de contraste.
---	--	--

Temps de reconstruction	~60-90 s (FBP). Reconstruction itérative disponible mais plus longue (~2-3 min).	~45-60 s (FBP) / ~90-120 s (itératif). GPU embarqué pour accélérer le calcul.	8 s	À définir.
Volume de reconstruction	19 cm x 19 cm x 19 cm	16 cm x 16 cm x 16 cm	16 cm x 16 cm x 16 cm	



Figure 4 : OEC 3D (GE Healthcare)[15]



Figure 5 : Cios Spin (Siemens Healthineers)[13]



Figure 6 : Ziehm Vision RFD 3D (Ziehm Imaging)[16]

Bloc 3 — Algorithmes de reconstruction et traitement d'image

Critère	GE OEC 3D	Siemens Cios Spin	Ziehm Vision RFD 3D	Philips (futur)
Reconstruction itérative	FBP standard + reconstruction itérative disponible (MBIR GE).	FBP + reconstruction itérative IQ (Siemens).	ZIR	À définir.
Algorithme MAR	Non documenté	Disponible (en option)	ZIR (Ziehm Iterative Reconstruction) Intégré en standard et inclus dans le temps de reconstruction	MetalSmart (2D) (Figure 3)
Visualisation 3D	MPR 512 coupes (axial/coronal/sagittal/oblique), Volume Rendering, mesures automatiques. Interface dédiée sur écran secondaire.	MPR complet, Volume Rendering, outil de mesure intégré, plans obliques libres..	MPR standard + fusion d'images vasculaire (EndoNaut) (superposition CT préop et CBCT perop).	À développer. Capitaliser sur l'expérience Azurion (salle fixe) pour transposer des outils avancés sur MoS.

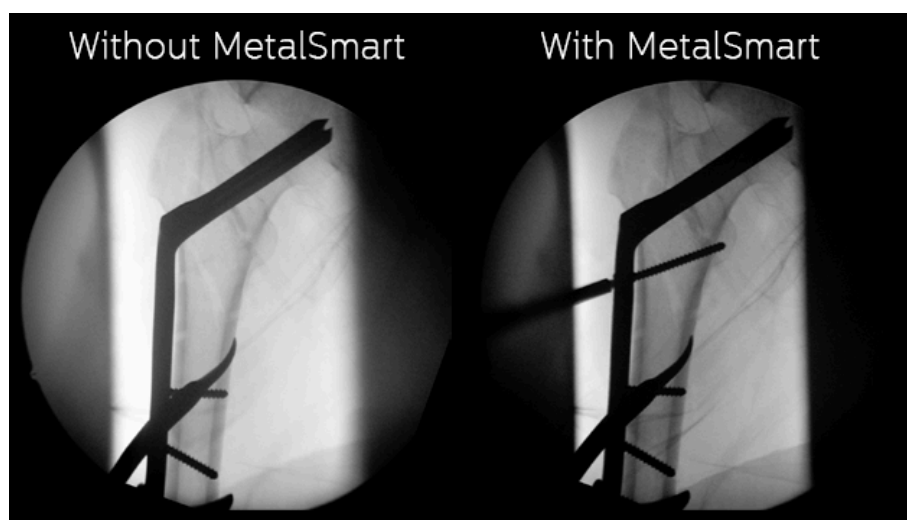


Figure 7 : Technologie MetalSmart, Philips[4]

Bloc 4 — Ergonomie et workflow

Critère	GE OEC 3D	Siemens Cios Spin	Ziehm Vision RFD 3D	Philips (futur)
Motorisation du bras	4 axes motorisés	4 axes motorisés	4 axes motorisés	TSO (Table Side Operator) existant sur Zenition 90M : commande depuis la table d'examen.
Mémorisation des positions	Disponible jusqu'à 6 positions	Non détaillée	Disponible jusqu'à 3 positions	Position Memory sur Zenition
Connectivité	OEC Open : export DICOM	NaviLink 3D (en option) DICOM Send/Print/Query/Worklist	NaviPORT 3D (navigation) Ziehm NetPort WLAN	À déterminer
Partenaires navigation	Stryker Malo, Brainlab, 8 systèmes vérifiés OEC	NaviLink 3D	Brainlab, Globus Medical, Medacta, Medtronic,	À déterminer

Open
(communiqué
GE, novembre
2024)

NuVasive,
Stryker

Bloc 5 — Applications cliniques et synthèse positionnement*

Spécialité	GE OEC 3D	Siemens Cios Spin	Ziehm Vision RFD 3D
Chirurgie rachidienne	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆
Traumatologie	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆
Chirurgie orthopédique	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆
Chirurgie vasculaire	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★
Pneumologie interventionnelle	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★☆
Chirurgie maxillo-faciale / ORL	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆
Cardiologie interventionnelle	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆
Urologie / endoscopie	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆

Tableau 2 : Matrice benchmark détaillée – C-arms 3D mobiles (sources : brochures fabricants, FDA 510(k), publications scientifiques, terrain, 2024-2026)

** Interprétation de l'auteur — positionnement estimé sur la base d'un croisement de sources : brochures fabricants, publications scientifiques, retours terrain collectés lors des missions CAS, et analyse comparative conduite dans le cadre de cette mission. Ces appréciations n'engagent pas Philips Healthcare France.*

II.6. Innovations et tendances : vers l'imagerie 3D augmentée ?

II.6.1. Intelligence artificielle et automatisation

L'IA dans les C-arm 3D s'intègre sur des axes complémentaires. Le premier s'implémente sur les reconstructions des images : des algorithmes de deep learning augmentent la qualité de l'image à partir de moins de projection. Cela permet de réduire la dose au patient et d'améliorer le rapport signal/bruit. Ceux présents sur les CT conventionnels commencent à se transposer aux C-arms 3D.

Le deuxième axe est celui de l'assistance au workflow avec notamment la détection automatique de la région anatomique, le guidage automatisé ou encore l'analyse automatisée des résultats.

II.6.2. Navigation chirurgicale couplée au C-arm 3D

La navigation chirurgicale assistée par ordinateur est une technique qui permet de superposer un volume 3D réalisé en per-opératoire à un modèle anatomique virtuel. Cela permet de guider en temps réel le chirurgien dans son geste dans l'espace 3D du patient. Initialement proposée en neurochirurgie, la navigation a trouvé de nouvelles applications en chirurgie prothétique et crano-faciale.

Le C-arm 3D possède un rôle central dans ce workflow : il permet de fournir le volume de recalage qui établit la correspondance entre le repère du patient et le repère du système de navigation. Sur le marché des systèmes tels que Stryker Spine System, l'O-Arm de Medtronic ou le Brainlab Curve intègre un workflow optimisé avec certains C-arms 3D.

L'interopérabilité entre ces systèmes est un critère différenciant.

II.6.3. Robotique chirurgicale et C-arm 3D

En robotique chirurgicale (Rosa Spine par exemple), les arceaux 3D trouvent leur place en tant que référentiel d'imagerie per-opératoire pour l'initialisation et le contrôle de la trajectoire des instruments. Le CBCT per-opératoire permet au robot de recalibrer sa connaissance de l'anatomie pré-opératoire avec la réalité avant le geste, compensant les modifications de position du patient. C'est à ce jour, la frontière la plus avancée des blocs opératoires connectés.

II.6.4. Fusion d'images et réalité augmentée

La fusion d'image se définit en la superposition des informations extraites d'autres modalités avec celle du mobile 3D pour enrichir la représentation de l'anatomie du patient pendant l'intervention. En bénéficiant d'un recalage précis, cette technique permet d'associer la qualité diagnostique de l'image per-opératoire, réduisant le risque d'un geste.

La réalité augmentée quand à elle pousse encore plus loin cette logique en projetant les informations anatomiques directement dans le champ visuel du chirurgien. Hier science-fiction, aujourd'hui elle est possible grâce à des lunettes connectées ou une superposition sur les écrans dans la salle d'intervention. Encore au stade de prototype, certains C-arms avec la réalité augmentée sont en cours d'évaluation clinique.

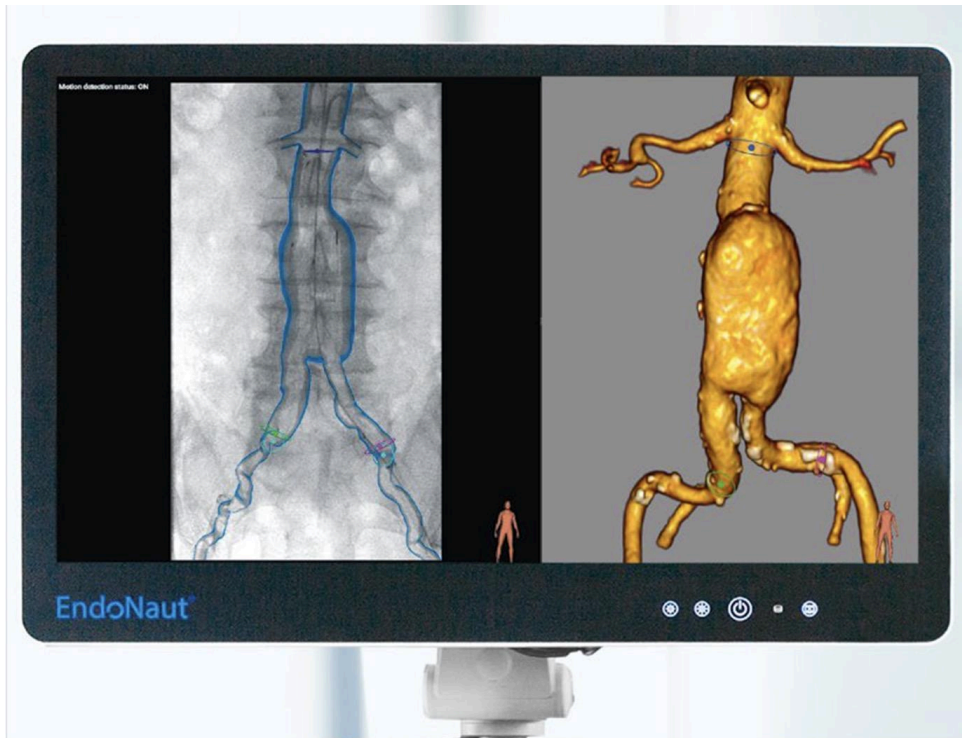


Figure 8 : Interface EndoNaut® : fusion d'images per-opératoire pour la chirurgie endovasculaire (Source : Ziehm)

II.6.5. Tendance vers des systèmes hybrides miniaturisés

La tendance actuelle qui s'observe est le rapprochement entre ces mobiles 3D et les salles interventionnelles fixes. Des systèmes hybrides plus petits, pouvant s'implémenter dans le bloc opératoire sans infrastructure lourde nécessitant des travaux d'envergure, naviguant de salle en salle et à moindre coût, les arceaux mobiles 3D s'imposent comme un segment en émergence.

III. Missions réalisées : rôle du CAS et conduite de l'état de l'art

III.1. La fonction de CAS : croisement technique, clinique et pédagogique

Le CAS travaille au carrefour entre les équipes techniques, commerciales et les utilisateurs finaux. Sa première mission est l'intégration d'un dispositif médical (DM), à partir de sa livraison jusqu'au suivi long terme.

Le CAS mobilise 3 compétences :

- La maîtrise du dispositif d'un point de vue technique : configuration, paramétrage, etc.
- La compréhension du besoin clinique et des contraintes de l'environnement de ce DM.
- La capacité pédagogique à former des utilisateurs hétérogènes et accompagner les changements de pratiques.

Ma mission de CAS s'articule autour de 3 axes.

En amont d'une installation, recueillir les besoins de chaque équipe (habitudes de service, niveau d'expertise, contraintes, spécialités pratiquées...) et coordonner la logistique avec le responsable technique, le service biomédical et le transporteur. Le jour de l'installation, je réalise le paramétrage des protocoles d'acquisition et la formation en deux temps : théorie hors bloc puis accompagnement en situation réelle.

J'assure également un suivi proactif de la base installée. Je m'assure de la satisfaction du client, l'utilisation correcte de l'appareil et détecte les besoins émergents. Les retours collectés sont transmis au MSS et au KAM.

Je participe également au support à la vente lors des congrès et des processus de démonstration.

III.2. Méthodologie de l'état de l'art : par l'approche processus

La réalisation de l'état de l'art a été conduite selon une approche processus formalisée dans une cartographie (voir Annexe 1). La démarche repose sur la définition des données d'entrée, des activités, des ressources, des sorties, des indicateurs de performance et garantit la traçabilité du travail.

La démarche suit 5 étapes séquentielles et itératives :

- 1) Cadrage du périmètre : définition de la technologie analysée, identification des concurrents et définition des axes d'analyse.
- 2) Veille technologique et bibliographique : analyse de publications récentes (≤ 5 ans) et comptes rendus de congrès.

- 3) Analyse clinique et économique : permettant de croiser les caractéristiques techniques aux usages du bloc opératoire.
- 4) Construction de la matrice benchmark (Tableau 2).
- 5) Synthèse et production du livrable double : état de l'art (ce rapport), et présentation destinée à l'équipe IGT-MoS.

III.3. Résultats, indicateurs de succès et limites

III.3.1. Résultats obtenus

Les 3 objectifs quantitatifs définis ont été atteints : la matrice benchmark couvre 4 fabricants selon plus de 15 critères et plus de 10 publications ont été analysées ; le livrable final est réutilisable par les équipes terrains ; et le rapport (ce mémoire) est structuré.

D'un point de vue immatériel, ce travail m'a permis une montée en compétence significative en analyse technologique, en veille concurrentielle et en communication technique.

III.3.2. Limites et pistes d'amélioration

J'identifie deux limites à cette mission.

La première est la confidentialité des données techniques que les constructeurs concurrents décident de rendre publiques.

La seconde est la temporalité de la veille qui nécessite une mise à jour régulière qui rend le livrable obsolète sans révision régulière.

En réponse, deux axes d'amélioration peuvent être proposés : il s'agit de traiter ce livrable comme un document vivant soumis à révision semestrielle ou annuelle en intégrant de nouvelles publications, les nouvelles annonces des fabricants et introduire des retours terrains, le tout en développant un réseau de référents qui alimentaient ce référentiel en données d'usage réel.

IV. Bilan personnel et professionnel

IV.1. Compétences acquises et développées

IV.1.1. Compétences techniques

Fort de mon expérience dans les systèmes d'imagerie peropératoire, j'ai progressivement développé une expertise technique approfondie des technologies 3D. Au-delà de la maîtrise des principes fondamentaux, je suis aujourd'hui capable d'analyser avec précision les paramètres influençant la qualité d'image, d'évaluer les

différents systèmes disponibles sur le marché et d'en identifier les forces et les limites selon les usages cliniques.

Les missions d'installation, de configuration et de suivi m'ont également permis de renforcer ma capacité à adapter un dispositif médical à son environnement d'utilisation. J'ai ainsi acquis une bonne compréhension des contraintes organisationnelles du bloc opératoire, des flux de travail associés, des interfaces DICOM avec les systèmes d'information hospitaliers, ainsi que de l'adaptation des protocoles aux pratiques des équipes utilisatrices.

IV.1.2. Compétences cliniques et relationnelles

Forte de mon expérience de manipulatrice radio (MERM), j'ai capitalisé sur ma connaissance du terrain hospitalier pour gagner en crédibilité auprès des utilisateurs cliniques.

La formation d'utilisateurs hétérogène – chirurgiens peu familiers des paramétrages, IBODE formées aux procédures mais pas à la dosimétrie, MERM experts de la radiologie – constitue l'une des compétences que j'ai le plus développée.

La gestion de la relation dans un contexte B2B de haute technicité a développé mes compétences de communication avec différents acteurs : directeurs, ingénieurs biomédicaux, physiciens...

IV.1.3. Compétences analytiques et stratégiques

La conduite de ce mémoire et du benchmark a mobilisé mes compétences analytique documentaire, de synthèse critique, et de structuration de l'information. Mêlant mes compétences acquises de ma formation à l'UTC, la formalisant de la démarche lors d'un apprentissage a permis d'objectiver la méthodologie et d'en démontrer la rigueur.

Les données ainsi collectées ont vocation à être transmises aux équipes usine et à la Business Unit, afin d'alimenter les réflexions sur le développement et le positionnement des futures solutions Philips.

IV.2. Articulation formation théorique et pratique

Mon parcours à l'UTC m'a donné les fondements méthodologiques à la mission par l'approche processus, l'analyse de besoin, l'évaluation médico-économique et la culture de la rigueur analytique.

L'expérience terrain, quant à elle, a mis en lumière de l'écart entre la théorie et la réalité du terrain, la gestion de la relation commerciale (argumentation, gestion des objectifs, compréhension des cycles d'achat hospitalier), et la navigation dans la

culture interne d'une entreprise internationale. Autant de dimensions que la formation théorique ne peut apporter et qui s'acquiert essentiellement sur le terrain

IV.3 Compétences restant à développer et projet professionnel

Des domaines restent à approfondir.

D'abord la maîtrise de la technologie CBCT, mais seul accès à un système 3D le permet . L'arrivée prochaine d'une solution 3D Philips rendra cela possible.

Sur le plan professionnel, cette expérience confirme mon orientation vers un rôle de CAS sénior et ensuite MSS dans l'industrie des DM d'imagerie. L'entrée de Philips sur le segment de la 3D mobile est une opportunité d'évolution dans la continuité du travail réalisé.

Au-delà de mes missions principales, j'ai sollicité des immersions auprès d'équipes de différentes modalités afin d'élargir mon positionnement dans ce secteur et développer une vision transverse du portefeuille Philips. À l'heure où les modalités d'imagerie ne fonctionnent plus en silos mais s'articulent au sein de parcours de soins intégrés, leur complémentarité devient un levier majeur pour améliorer la prise en charge des patients.

Conclusion

L'imagerie 3D mobile per-opératoire est une réalité établie répondant à un besoin croissant et un spectre d'indication qui s'élargit chaque année : chirurgie prothétique, vasculaire, ORL, maxillo-faciale, pulmonaire...

La maturation des algorithmes de reconstruction démontre la montée en puissance de cette technologie. L'amélioration des capteurs, la puissance grimpante des générateurs et l'intégration des fonctions robotiques ou de navigation dessinent un nouveau marché. Aujourd'hui les positions concurrentielles se jouent sur cette convergence.

Ce rapport met en évidence la nécessité pour Philips France de combler l'absence sur ce segment avant que les bases installées des concurrents ne deviennent un verrou commercial irréversible.

Les atouts acquis par la gamme Zenition doivent constituer des fondations solides pour une entrée sur le marché réussie.

La problématique posée trouve une réponse sur la construction d'un référentiel de connaissance sur les C-arms 3D pour préparer les équipes commerciales et terrain à des discussions techniques et commerciales pour identifier les axes de différenciation et prétendre à un positionnement distinctif.

D'un point de vue personnel, cette alternance confirme la complexité du métier de CAS. Elle me donne les outils relationnels et techniques pour conduire efficacement une business line dans un marché hautement concurrentiel et dynamique.

Bibliographie

- [1] Dillenseger, Jean Philippe, E. Moerschel, et C. Zorn, *Guide des technologies de l'imagerie médicale et de la radiothérapie*. Elsevier Masson, 2016.
- [2] J. H. Siewerdsen et D. A. Jaffray, « Cone-beam computed tomography with a flat-panel imager: magnitude and effects of x-ray scatter », *Med. Phys.*, vol. 28, n° 2, p. 220-231, févr. 2001, doi: 10.1118/1.1339879.
- [3] Philips, « Our history ». Consulté le: 21 janvier 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.philips.com/a-w/about/our-history.html>
- [4] Philips, « Documentation Interne à Philips ».
- [5] S. Pawar, « Europe Mobile C-Arm Equipment Market Size, Trends, Growth Report 2029 », Market Research Report, juin 2022. Consulté le: 13 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/europe-mobile-c-arm-equipment-market>
- [6] « 510(k) Premarket Notification ». Consulté le: 13 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfpmn/pmn.cfm?ID=K042793>
- [7] M. Beck, T. Mittlmeier, P. Gierer, C. Harms, et G. Gradl, « Benefit and accuracy of intraoperative 3D-imaging after pedicle screw placement: a prospective study in stabilizing thoracolumbar fractures », *Eur. Spine J. Off. Publ. Eur. Spine Soc. Eur. Spinal Deform. Soc. Eur. Sect. Cerv. Spine Res. Soc.*, vol. 18, n° 10, p. 1469-1477, oct. 2009, doi: 10.1007/s00586-009-1050-5.
- [8] M. Beck, K. Moritz, P. Gierer, G. Gradl, C. Harms, et T. Mittlmeier, « [Intraoperative control of pedicle screw position using three-dimensional fluoroscopy. A prospective study in thoracolumbar fractures] », *Z. Orthopadie Unfallchirurgie*, vol. 147, n° 1, p. 37-42, 2009, doi: 10.1055/s-2008-1039033.
- [9] K. Atesok et al., « The use of intraoperative three-dimensional imaging (ISO-C-3D) in fixation of intraarticular fractures », *Injury*, vol. 38, n° 10, p. 1163-1169, oct. 2007, doi: 10.1016/j.injury.2007.06.014.
- [10] H. Keil et al., « Intraoperative revision rates due to three-dimensional imaging in orthopedic trauma surgery: results of a case series of 4721 patients », *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.*, vol. 49, n° 1, p. 373-381, 2023, doi: 10.1007/s00068-022-02083-x.
- [11] « Bulletin Officiel n°2002-14 ». 6 avril 2002. Consulté le: 13 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/fichiers/bo/2002/02-14/a0141332.htm>
- [12] « GE HealthCare Announces Advanced Imaging Innovations for OEC 3D C-arm to Help Improve Precision Care in Practice of Interventional Pulmonology | GE HealthCare ». Consulté le: 13 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://investor.gehealthcare.com/news-releases/news-release-details/ge-healthcare-announces-advanced-imaging-innovations-oec-3d-c/>
- [13] Siemens, « Cios Spin ». Consulté le: 21 janvier 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.siemens-healthineers.com/fr/surgical-c-arms-and-navigation/mobile-c-arms/cios-spin>
- [14] « Philips launches Zenition mobile C-arm platform for enhanced operating room performance and workflow efficiency ». 18 février 2019. Consulté le: 13 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/standard/news/press/2019/2019>

2018-philips-launches-zenition-mobile-c-arm-platform-for-enhanced-operating-room-performance-and-workflow-efficiency.html

[15] GE Healthcare, « OEC 3D ». Consulté le: 21 janvier 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.gehealthcare.fr/products/surgical-imaging/oec-3d>

[16] Ziehm, « Ziehm Vision RFD 3D – the mobile C-arm with 3D imaging - Ziehm Imaging | EN ». Consulté le: 21 janvier 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ziehm.com/en/products/ziehm-vision-rfd-3d/>

Annexes

Annexe 1 – Cartographie des processus

PHILIPS

Réaliser un état de l'art sur les mobiles de chirurgie (3D) au bloc opératoire

ALLIANCE
SORBONNE
UNIVERSITÉ

utc

Données d'entrée :

- besoin de veille technologique Philips (pour argumentaire et formation)
- Marché C-arm en croissance
- Manque de référentiel interne
- Pression concurrentielle

Objectif mesurable

- Couvrir ≥4 concurrents
- analyser publications (<5ans)
- document réutilisable par Philips

Données de sortie :

- état de l'art structuré
- Matrice benchmark 5 systèmes x 12 critères
- Montée en compétences
- support argumentation terrain

1a) Entité de service : équipe ingénieur d'application / spécialiste produit Philips Mobile Surgery

1b) Publics : Ingénieur d'application, équipe commerciale, chirurgiens, IBODE, MERM, radiologues

2a) Entrées immatérielles : retours terrains

2a) Entrées matérielles : brochures techniques concurrents et interne, publications, données FDA 510(k), Roadmap produits Philips

5c) Amélioration à prévoir :

Intégrer retours utilisateurs terrain ; mise à jour annuelle du benchmark ; couverture angioCT hybride

3) Activité Processus :

- Cadrage périmètre
- veille technologique et bibliographique
- analyse clinique et économique
- benchmark concurrentiel
- synthèse et rédaction livrable

4a) Ressources externes : PubMed, Google Scholar ; bases FDA 510(k)/ANSM ; documents concurrents ; revues ; congrès

4b) Ressources internes : Intranet Philips, IA séniors, équipe commerciale/marketing Philips, tuteur UTC

2b) Sorties immatérielles :

Connaissance marché C-arm (+3D), compétences, arguments techniques vs concurrence, identifications opportunités Philips

2b) Sorties matérielles : Matrice benchmark, support écrit, présentation orale

5a) Mesure du succès des livrables :

Nombre de système benchmarkés, réutilisabilité évaluée, validation tuteur avant rendu

5b) Mesure des ressources consommées :

Temps/étape ; nombre de source traitées ; respect délais

Annexe 2 – KOL : Chirurgie rachis

Dans le cadre de cette analyse, et afin d'anticiper le positionnement de Philips sur le segment des arceaux mobiles 3D dont l'interface s'inscrit dans la continuité de la gamme Zenition – conservant ainsi l'ergonomie, les protocoles familiers aux équipes formées et l'écosystème de service existant.*

**Hypothèse de travail prospective – la disponibilité commerciale d'une telle solution n'est pas confirmée à la date de rédaction de ce rapport (juin 2026)*

Profil type à cible pour l'entrée de Philips sur le marché des arceaux 3D mobiles

Profil :

- **Spécialité** : chirurgie rachidienne
- **Type d'établissement** : clinique privé de référence avec une activité rachis dédiée
- **Statut** : chef de service
- **Équipement actuel** : Zenition 70 – maîtrise du système
- **Position sur la 3D** : pas encore équipé. Intéressé mais pas encore convaincu

En quoi ce profil est idéal pour Philips ?

Il s'agit d'une cible en phase d'arbitrage : ni acquis à un concurrent, ni fermé à la 3D. Il connaît l'interface Zenition et fait confiance à Philips pour la qualité de la 2D sur Zenition et le service. Il n'a pas d'engagement financier ou intellectuel envers un concurrent.

Ses freins actuels sur la 3D sont le surcoût pour un usage ponctuel, l'apprentissage de la technologie et la place dans son bloc opératoire.

Stratégie d'engagement :

Étape 1 - Activer le CAS existant : lors du suivi le CAS (premier point de contact) introduit le sujet de la 3D de façon informelle. Objectif : identifier un cas vécu (par exemple une malposition détectée trop tard)

Étape 2 : Apporter une donnée clinique personnalisée : apporter une étude sur la réduction des révisions et chiffrer le coût d'une malposition révisée. Rendre le retour sur investissement concret.

Étape 3 : Proposer une démonstration : positionner le chirurgien comme l'un des premiers à tester l'équipement dès son lancement sur le marché français → plus engageant qu'une visite et lui donne un statut de référent.

Étape 4 : Se positionner comme partenaire de transition : "Vous êtes déjà sur Zenition, vous serez en continuité totale (interface, formation...).

Ce qu'il peut apporter à Philips :

- Premier site de référence en clinique privée du rachis

- Données de pratiques (type de cas, dosimétrie, volume) pour construire davantage l'argumentaire terrain
- Ambassadeur auprès de son réseau
- Centre de visite