



**HAL**  
open science

# Impact de la recherche scientifique dans le développement et l'évaluation des techniques de chirurgie de la main

Lionel Athlani

► **To cite this version:**

Lionel Athlani. Impact de la recherche scientifique dans le développement et l'évaluation des techniques de chirurgie de la main. Médecine humaine et pathologie. Université de Lorraine, 2022. tel-03687490

**HAL Id: tel-03687490**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-03687490>**

Submitted on 3 Jun 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**École Doctorale BioSE (Biologie-Santé-Environnement)**

**Mémoire**

Présentée pour la candidature au diplôme

**D'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES**

par

**Lionel ATHLANI**

**Né le 08.08.1984**

**Impact de la recherche scientifique dans le  
développement et l'évaluation des techniques de  
chirurgie de la main**

**(CNU 50.02 Chirurgie orthopédique et traumatologique)**

**Parrain scientifique : Professeur GONDIM TEIXEIRA Pedro Augusto**

**Impact de la recherche scientifique dans le développement et l'évaluation des  
techniques de chirurgie de la main, Université de Lorraine, Laboratoire IADI, Nancy.**

---

Laboratoire IADI, INSERM U1254, CIC-IT Nancy, Université de Lorraine, Bâtiment Recherche, CHRU  
de Nancy Brabois, 5 Rue du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy.



# SOMMAIRE

1. ABRÉVIATIONS .....	4
2. TABLE DES FIGURES .....	5
3. INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	12
4. TITRES ET TRAVAUX.....	20
4.1. <i>FORMATION ET TITRES UNIVERSITAIRES</i> .....	20
4.2. <i>SITUATION ACTUELLE</i> .....	21
4.3. <i>ACTIVITÉ CLINIQUE</i> .....	21
4.3.1. Tableau d'activité clinique des trois dernières années .....	22
4.4. <i>PUBLICATIONS</i> .....	22
4.4.1. Tableau récapitulatif des publications indexées.....	22
4.4.2. Articles dans des revues avec Comité de Lecture (ACL) .....	24
4.4.3. Publications dans des revues pédagogiques .....	28
4.4.4. Communications à des congrès .....	29
4.4.4.1. Nationaux .....	29
4.4.4.2. Internationaux.....	30
4.4.4.3. Prix .....	31
4.5. <i>ENSEIGNEMENT</i> .....	32
4.5.1. Tableau récapitulatif des activités d'enseignement.....	32
4.5.2. Activités d'enseignement universitaire .....	33
4.5.3. Activités d'enseignement locales et réunions hebdomadaires .....	33
4.5.4. Activités complémentaires à la Faculté de médecine de Nancy .....	34
4.5.5. Diplômes Universitaires et Interuniversitaires .....	35
4.5.6. Organisation de congrès et EPU.....	36
4.5.7. Conférences sur invitation.....	37
4.6. <i>ACTIVITÉS D'INTÉRÊT GÉNÉRAL ET MANAGÉRIALES</i> .....	39
4.6.1. CHRU de Nancy.....	39
4.6.2. Membres de sociétés savantes .....	41
4.6.3. Comité de rédaction revues scientifiques.....	41
5. ACTIVITÉ DE RECHERCHE ET ENCADREMENT .....	42
5.1. <i>CONTRATS DE RECHERCHE ET FINANCEMENTS OBTENUS</i> .....	42
5.2. <i>L'INSTABILITÉ SCAPHOLUNAIRE</i> .....	44
5.2.1. Analyse cinématique en 4DCT.....	50

5.2.2.	Approche biomécanique et robotique.....	54
5.2.3.	La ligamentoplastie ScaphoLunaire et InterCarpienne .....	59
5.2.4.	Bilan de la recherche dans la thématique instabilité scapholunaire .....	68
5.3.	<i>LE CAL VICIEUX DU RADIUS DISTAL</i> .....	70
5.3.1.	Planification préopératoire 3D assistée par ordinateur.....	72
5.3.2.	Chirurgie guidée et impression 3D.....	79
5.3.3.	Indication de la chirurgie de correction.....	85
5.3.4.	Bilan de la recherche dans la thématique cal vicieux du radius distal .....	89
5.4.	<i>LA RHIZARTHROSE</i> .....	90
5.4.1.	L'arthroplastie totale trapézo-métacarpienne .....	93
5.4.2.	Contribution à l'évaluation biomécanique .....	96
5.4.3.	Bilan de la recherche dans la thématique rhizarthrose .....	107
5.5.	<i>LES PARALYSIES DU PLEXUS BRACHIAL</i> .....	109
5.5.1.	Neurotisations ou transferts nerveux.....	111
5.5.2.	Bilan de la recherche dans la thématique plexus brachial.....	117
5.6.	<i>TRAVAUX DE RECHERCHE DANS D'AUTRES THÉMATIQUES</i> .....	118
6.	PERSPECTIVES.....	128
6.1.	<i>CONTRIBUTION DE L'IMAGERIE DYNAMIQUE</i> .....	128
6.2.	<i>CONTRIBUTION DE L'IMPRESSION 3D</i> .....	130
6.3.	<i>ENSEIGNEMENT ET ÉVALUATION DES CONNAISSANCES</i> .....	139
7.	CONCLUSION .....	140
8.	RÉFÉRENCES.....	141
9.	ANNEXES .....	151

# 1. ABRÉVIATIONS

<b>2D</b>	<i>Bidimensionnel</i>
<b>3D</b>	<i>Tridimensionnel</i>
<b>4DCT</b>	<i>Four dimensional CT (Scanner dynamique quatre dimensions)</i>
<b>CT</b>	<i>Computerized tomography (Tomodensitométrie)</i>
<b>SIR</b>	<i>Stage d'initiation à la recherche</i>
<b>IRM</b>	<i>Imagerie résonance magnétique</i>
<b>IADI</b>	<i>Imagerie adaptative diagnostique et interventionnelle</i>
<b>DES</b>	<i>Diplôme d'études spécialisées</i>
<b>DESC</b>	<i>Diplôme d'études spécialisées complémentaire</i>
<b>ECN</b>	<i>Épreuves classantes nationales</i>
<b>ICL</b>	<i>Institut de cancérologie de Lorraine</i>
<b>INSERM</b>	<i>Institut national de la santé et de la recherche médicale</i>
<b>PCEM</b>	<i>Premier cycle des études de médecine</i>
<b>DIU</b>	<i>Diplôme inter universitaire</i>
<b>FESUM</b>	<i>Fédération des services d'urgences de la main</i>
<b>FST</b>	<i>Formation Spécifique Transversale</i>
<b>DRCI</b>	<i>Délégation à la Recherche Clinique et à l'Innovation</i>
<b>UE</b>	<i>Unités d'Enseignement</i>
<b>SIDES</b>	<i>Système Interuniversitaire Dématérialisé d'Évaluation en Santé</i>
<b>FASM</b>	<i>Formation Approfondie en Sciences médicales</i>

## 2. TABLE DES FIGURES

**Figure 1.** Vues anatomiques et radiographiques d'une instabilité scapholunaire statique. On visualise le diastasis scapholunaire (A) et la subluxation postérieure du scaphoïde (B).

C : capitatum; S : scaphoïde ; L : lunatum.

**Figure 2.** Schémas et vues arthroscopiques d'un poignet au niveau de l'articulation médio-carpienne. Le testing de la congruence articulaire scapholunaire est réalisé par le crochet du palpeur.

A : Le crochet est introduit dans l'espace entre le scaphoïde (1) et le lunatum (3). La tête du capitatum est visible en haut (2), de même que le ligament radio-scapho-capital (4).

B : Sous l'effet du mouvement de torsion appliqué au crochet, un diastasis se démasque entre le scaphoïde (1) et le lunatum (3). L'articulation scapholunaire s'ouvre et les reliquats ligamentaires (5) deviennent visibles au niveau de l'articulation radio-carpienne.

**Figure 3.** Photographies illustrant la procédure d'acquisitions en 4DCT. (A) - Le patient, protégé est assis à côté du scanner, son poignet est en position neutre, placé sur la table d'examen. (B) - La capture d'écran d'une tablette montre l'amplitude et la vitesse de déplacement en déviation radio-ulnaire du poignet (Abou Arab et al., 2018 ; Rauch et al., 2018).

**Figure 4.** Plans de référence sélectionnés sur une image multiplanaire d'un des volumes d'acquisition. Dans ces plans, on positionne des marqueurs pour effectuer les mesures d'espace interosseux et d'angles. Le logiciel suit ensuite automatiquement les marqueurs sélectionnés dans tous les volumes acquis restants, permettant le calcul pour chaque paramètre (espace ou angle) de sa variation au cours du mouvement de poignet. SLG : espace scapholunaire ; LCA : angle lune-capital ; PRSA : angle radioscaphoïdien postérieur.

**Figure 5.** Exemple d'une instabilité scapholunaire avec la variation considérable de l'espace scapholunaire (SLG) lors du mouvement de déviation radio-ulnaire. En inclinaison radiale, l'espace a tendance à diminuer alors qu'il est maximal en inclinaison ulnaire. Les valeurs moyennes sont globalement augmentées.

**Figure 6.** Exemple d'un patient présentant une instabilité scapholunaire du poignet droit illustrant la corrélation entre l'analyse 4DCT et testing dynamique de l'articulation scapholunaire sous arthroscopie. En inclinaison ulnaire, l'espace scapholunaire augmente correspondant à l'ouverture possible de l'articulation par le crochet du palpeur en arthroscopie. S : scaphoïde ; L : lunatum.

**Figure 7.** Photographies illustrant la préparation des pièces anatomiques (A), l'installation sur la station en bois conçue sur mesure (B), puis l'acquisition scanographique des membres (C).

**Figure 8.** Photographies illustrant le montage expérimental (A). Vues dorsale (B) et palmaire (C) centrées sur le poignet avec le positionnement des différents marqueurs réfléchissants.

**Figure 9.** Vues dorsales centrées sur le poignet avant (A) et après (B) section des ligaments stabilisateurs du couple scapholunaire. On visualise l'ensemble des caractéristiques anatomiques d'une instabilité scapholunaire.

**Figure 10.** Schémas montrant la version originale (A) et la version modifiée (B) de la ligamentoplastie « SLIC ».

**Figure 11.** Schémas illustrant les différentes étapes de la ligamentoplastie « SLIC » dans sa version modifiée (A). Exemple d'une instabilité scapholunaire (B) traitée par cette technique chirurgicale (C). On note l'utilisation d'un transplant libre de Palmaris Longus mesurant 10 cm de longueur. S : scaphoïde ; L : lunatum ; C : capitatum.

**Figure 12.** Radiographies de face (A) et de profil strict (B) d'un poignet droit avec des signes d'instabilité scapholunaire (flèches). Radiographies de face (C) et de profil strict (D) à 3 ans de recul d'une ligamentoplastie « SLIC ». L'efficacité de la chirurgie est évaluée par la correction des signes présents en préopératoires. Toutefois, la restauration de la synergie du couple scapholunaire lors du mouvement de poignet n'est pas évaluable avec de simples radiographies standards.

**Figure 13.** (A, B) - Photographies du dispositif spécifique dédié et d'un poignet gauche cadavérique installé dessus dont le poignet va être mobilisé en déviation radio-ulnaire. (C) - Pour chaque poignet, un examinateur indépendant a effectué un mouvement passif de manière continue et homogène, de l'inclinaison radiale maximale à l'inclinaison ulnaire maximale, puis un retour en position neutre (cycle complet de déviation radio-ulnaire pendant 8 secondes. (D) - On visualise la dissociation scapholunaire créée en sectionnant les trois segments du ligament interosseux scapholunaire, le ligament radiocarpien dorsal, le ligament intercarpien dorsal et le septum capsulo-scapho-lunaire dorsal avec une lame de scalpel (R : radius ; S : scaphoïde ; L : lunaire ; C : majuscule).

**Figure 14.** Images du rendu cinématique 3D acquises en 4DCT au niveau de l'articulation scapholunaire après section ligamentaire puis ligamentoplastie « SLIC ». Nous observons avec précision (et lors du mouvement de poignet) l'état de dissociation scapholunaire (A, B) puis après chirurgie, la correction de cet état pathologique et la restauration de la synergie de cinématique du couple scapholunaire (C, D).

**Figure 15.** Schéma (A) et photographie (B) d'une vue postérieure de poignet illustrant les structures anatomiques et le contour de la capsulotomie (traits noirs). 1 : Ligament radiocarpien dorsal (ligne pointillée) ; 2 : ligament intercarpien dorsal (ligne pointillée) ; 3 : branche terminale du nerf interosseux postérieur ; 4 : branche dorsale de l'artère interosseuse antérieure ; 5 : arc artériel radiocarpien dorsal ; 6 : arc artériel intercarpien dorsal. Photographie d'une vue postérieure d'un poignet droit (C) illustrant l'exposition des os du carpe. Les flèches noires indiquent les contours de la capsulotomie et la surface d'exposition. S : scaphoïde ; L : lunatum ; T : triquetrum ; C : capitatum ; H : hamatum.

**Figure 16.** Évaluation de la déformation à l'aide des modèles osseux informatiques 3D. L'inclinaison palmaire 3D (A), l'inclinaison radiale 3D (B) et la variance ulnaire 3D (C) peuvent être mesurées sur le poignet pathologique et le côté sain controlatéral. MP : point médian, RSP : point styloïde radial, DUMP : point marge ulnaire dorsal, PUMP : point marge ulnaire palmaire.

**Figure 17.** Évaluation de la déformation en rotation axiale à l'aide des modèles osseux informatiques 3D. Les plans frontaux du radius sain controlatéral et du radius pathologique sont superposés en proximal et distal. L'amplitude de la déformation est évaluée en calculant la valeur, en degrés, entre les deux plans axiaux définis pour les deux images superposées. MP : point médian, RSP : point styloïde radial.

**Figure 18.** Exemple de reproductibilité de placement des points sur un radius (chaque couleur correspond à un opérateur). Visualisation des sphères d'erreur selon la méthode d'Innocenti (e)(la sphère claire représente l'écart-type).

**Figure 19.** Illustrations de la méthode pour évaluer l'influence de la longueur du radius sur les mesures d'angle.

**Figure 20.** Illustrations de la méthode de planification de la correction osseuse sur la base du côté controlatéral sain.

**Figure 21.** Illustrations de l'évaluation de la déformation axiale en rotation résiduelle indiquant la nécessité ou pas de planifier de la dérotation.

**Figure 22.** Illustrations des différentes étapes chirurgicales accessibles à une planification 3D pour le guidage peropératoire de la correction osseuse.

**Figure 23.** Photographies de l'impression 3D en polyamide (PA 2200) des modèles osseux et guides de coupe.

**Figure 24.** Illustrations de l'intérêt d'une double ostéotomie en cas d'une réorientation sagittale importante (supérieure à 20°).

**Figure 25.** Photographies des étapes systématisées de la technique chirurgicale, le résultat radiographique et le réalignement clinique du poignet.

**Figure 26.** Exemple d'un cal vicieux extra-articulaire du radius distal avec sa modélisation 3D, la planification préopératoire 3D et résultat postopératoire 3D (A, B). Radiographies montrant le cal vicieux et le résultat radiographique à 4 mois de recul. Scanner du poignet à 6 mois de recul, confirmant les données de la radiographie et permettant de modéliser en 3D le résultat (C).

**Figure 27.** Photographies de la préparation de l'allogreffe osseuse pour qu'elle corresponde au modèle en polyamide imprimé 3D. Utilisation du guide de modelage du cube os de banque.

**Figure 28.** Photographies illustrant le dispositif expérimental. (a)- La station dédiée à l'expérimentation, conçue sur mesure, peut être ajustée à la taille de l'avant-bras et dispose d'un goniomètre pour mesurer les amplitudes de pronation et de supination. (b) – Le membre préparé est installé avec le coude fixé à 90° de flexion. (c) - Le muscle Pronator Quadratus a été soulevé pour exposer la face palmaire du radius distal. (d) - Une plaque d'ostéosynthèse palmaire anatomique est fixée à l'os avec deux vis épiphysaires et deux vis diaphysaires positionnées dans des trous pilotes prédéfinis.

**Figure 29.** (a)- Photographies illustrant la double ostéotomie réalisée au niveau métaphysaire, créant un espace vide d'environ 5 mm. (b) - Les plaques palmaires imprimées en 3D sur mesure utilisées pour induire les déformations sagittales de l'épiphyse distale du radius.

**Figure 30.** Exemples de déformations sagittales palmaire (a) et dorsale (b) induites par la fixation des plaques imprimées en 3D sur mesure, en utilisant les trous de vis pilotes.

**Figure 31.** (A) - Radiographies d'un pouce droit atteint d'une rhizarthrose avancée. (B) - Radiographies immédiatement après implantation d'une prothèse MAIA®. (C) - Radiographies à 10 ans de recul.

**Figure 32.** Radiographies montrant un cas de conflit scaphométacarpien à 9 ans de recul après trapézectomie.

**Figure 33.** Radiographies de face centrées sur l'os Trapèze (a1 et b1) et leurs correspondances anatomiques sur os cadavériques (a2 et b2). Positionnement simulé d'une cupule prothétique en utilisant le milieu de la surface articulaire distale du trapèze (AC et X1) et le milieu de la largeur du trapèze (AC' et X2). Les distances entre leurs extrémités radiales respectives et le bord radial du trapèze ont été mesurées. Elles correspondent à la distance osseuse radiale résiduelle après positionnement du diamètre simulé de la cupule, avec les deux repères de centrage (R1 et R2).

**Figure 34.** Photographies illustrant le protocole de l'étude. (A) - L'échantillon a été monté verticalement dans un banc d'essai conçu sur mesure pour le stabiliser et pour faciliter le chargement du tendon. (B) - Pour évaluer la force de pincement, une jauge graduée a été fixée au niveau de la pulpe du pouce et de la face latérale de l'extrémité distale de l'index. (C) - La position des articulations métacarpophalangienne et interphalangienne de l'index a été ajustée et fixée avec deux broches pour obtenir un Key Pinch optimal. (D) - La force de pincement a été simulée en chargeant les tendons des trois actionneurs musculo-tendineux du Key Pinch, grâce à des poids appliqués sur des crochets métalliques.

**Figure 35.** Radiographies montrant le recul du premier métacarpe après trapézectomie, lors d'une force de pincement du pouce progressivement croissante.

**Figure 36.** Photographies du kit prototype Tekscan® FlexiForce™. (A) - La flèche fine pointe indique le capteur FlexiForce™A201-1 avec la zone sensible à la pression et les concentrateurs de charge fixés des deux côtés. La flèche épaisse pointe indique la carte FlexiForce™ avec un connecteur spécifique pour brancher le capteur, et un port USB pour se connecter à un ordinateur (B). (C) - Le programme logiciel open source est conçu spécifiquement pour faciliter le processus d'intégration des capteurs.

**Figure 37.** Photographies illustrant le protocole de l'étude. (A) - Après avoir effectué une capsulotomie en forme de H de l'articulation trapézo-métacarpienne, le capteur de force Tekscan FlexiForce™ a été introduit et stabilisé à l'intérieur de l'articulation (la base du métacarpien du pouce est indiquée par un astérisque). Son placement correct au centre de l'articulation a été confirmé par des radiographies. (B) – Le membre a été monté verticalement sur un banc d'essai conçu sur mesure afin de le stabiliser et de faciliter le chargement des tendons. (C) - Pour évaluer la force de pincement du pouce, une jauge graduée a été fixée à la pulpe du pouce et à la face latérale de l'extrémité distale de l'index. (D) - La position des articulations métacarpophalangienne et interphalangienne de l'index ont été ajustées et fixées avec deux broches pour obtenir un Key Pinch optimal. (E) – La force de pincement a été simulée en chargeant les tendons actionneurs du Key Pinch avec des poids appliqués sur des crochets métalliques.

**Figure 38.** Photographies des cupules trapéziennes conique et sphérique de 9 mm de la prothèse Touch® (A), de la préparation des blocs de mousse rigide Sawbones® (B) et des os de trapèzes cadavériques (C).

**Figure 39.** Montage expérimental. Des tests de compression uniaxiale (jusqu'à 40 kg) ont été effectués à l'aide d'un système de test électromécanique MTS Criterion® série 40 (A) sur les blocs de mousse rigide Sawbones® (B) et les os de trapèzes cadavériques (C).



**Figure 40.** Photographies montrant des exemples de migration de cupule dans des blocs Sawbones® non ostéoporotiques (A) et ostéoporotiques (B) pour une charge appliquée de 40 kg.

**Figure 41.** Photographie peropératoire d'un abord sus-claviculaire du plexus brachial droit. On individualise la fusion des racines C5 et C6 en tronc primaire supérieur, l'émergence du nerf supra-scapulaire (SS) puis, la division du tronc primaire supérieur en faisceaux antérieur (FA) et postérieur (FP). Au niveau du tronc primaire supérieur, on retrouve un névrome en continuité (flèche) confirmant la lésion traumatique par rupture nerveuse, responsable de la paralysie plexique C5C6.

**Figure 42.** Photographie peropératoire d'un transfert nerveux d'une branche motrice du nerf du chef médial du muscle Triceps Brachial (Tr) sur le nerf axillaire (Ax) afin de réanimer le muscle Deltoïde.

**Figure 43.** Schéma et photographie d'une dissection cadavérique illustrant le transfert nerveux d'une branche motrice du nerf du muscle Pronator Teres sur le nerf du muscle Supinator Brevis afin de réanimer la supination de l'avant-bras.

**Figure 44.** Exemple d'une arthrose avancée de l'articulation interphalangienne proximale d'un doigt long (A) traitée par une prothèse TACTYS (D). Résultats radiographiques à 1 an (B) et 2 ans (C) de recul.

**Figure 45.** Le lambeau en îlot dorsal (1) basé sur la première branche dorsale de l'artère digitale palmaire propre des doigts longs (FDCA). La sensibilité du lambeau est assurée par la branche dorsale du nerf digital palmaire propre des doigts longs (DBDN).

**Figure 46.** Exemple de la relaxation des tendons fléchisseurs des doigts longs avec une attelle positionnant le poignet à 0° et les doigts à 60° de flexion (B) puis avec une attelle positionnant le poignet à 30° d'extension et les doigts à 60° de flexion (C). La position neutre de référence est celle avec le poignet et les doigts à 0° (A).

**Figure 47.** Coupes scanographiques frontales en inclinaison radiale maximale lors d'un 4DCT. À 2 ans de recul de la chirurgie, on visualise le conflit entre l'agrafe et la pointe de la styloïde radiale (A)(flèche) responsable d'une arthrose stylo-scaphoïdienne focale (B)(flèche).

**Figure 48.** Schémas illustrant l'innervation et la vascularisation du muscle premier interosseux dorsal d'après nos résultats.

**Figure 49.** Acquisition en IRM dynamique du poignet droit d'un volontaire sain pendant un mouvement de DRU. Images coronales du poignet dans les positions d'inclinaison radiale (A), neutre (B) et ulnaire (C) lors de la manœuvre continue de déviation. Il s'agit d'une séquence RF-Spoiled Radial FLASH : voxel size (mm<sup>3</sup>) = 0.62x0.62x5, temporal résolution (ms) = 600, TR/TE (ms) = 4.65/2.27.

**Figure 50.** Photographies d'un modèle de prothèse scapho-métacarpienne avec différentes tailles de col, imprimée en 3D titane.

**Figure 51.** Vues 3D et photographies du dispositif « Guided Wrist Motion Device ».

**Figure 52.** Vue 3D de l'ensemble des pièces constituant le dispositif GWMD.

**Figure 53.** Vues 3D et photographies du capteur d'analyse des amplitudes de mouvement du poignet. À noter en bas à droite, l'impression 3D de la pièce servant de support à l'interrupteur ON/OFF et au passage du câble de liaison du capteur à la console TDM ou IRM.

**Figure 54.** Photographie montrant la compatibilité en matière de d'encombrement du dispositif avec la table d'examen du scanner Aquilion One du service d'imagerie Guilloz. À noter la simulation hors acquisition scanographique, de l'installation sur le dispositif du membre supérieur droit d'un médecin volontaire.

**Figure 55.** Acquisition scanographique (scanner Aquilion One du service d'imagerie Guilloz) du dispositif, centrée sur la zone d'intérêt à analyser, montrant l'absence d'artéfact induit par le capteur électronique (cercles rouges).

**Figure 56.** Photographies illustrant l'installation du membre droit d'un volontaire sain sur le dispositif GWMD avec son poignet positionné à 0° puis en inclinaison radiale à 10°, 20°, 30° et en inclinaison ulnaire à 10°, 20°, 30°.

### 3. INTRODUCTION GÉNÉRALE

Après avoir été reçu au concours de fin de première année du PCEM à Marseille, Université Aix-Marseille, ma formation médicale a été réalisée jusqu'à l'obtention en 2009 de mon diplôme de fin de deuxième cycle des études médicales. La même année, après avoir passé les ECN, j'ai été reçu en chirurgie générale à Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne avec orientation vers la filière chirurgie orthopédique et traumatologie.

Mon internat s'est déroulé de novembre 2010 à avril 2016. Relativement tôt dans mon programme d'internat, je me suis intéressé à la chirurgie de la main. Ainsi, sur le plan clinique, dans un premier temps, j'ai effectué de nombreux stages en chirurgie orthopédique et traumatologie, et en chirurgie plastique et reconstructrice. En novembre 2013, j'ai débuté ma formation en chirurgie de la main avec un premier stage en inter-CHU, à Nancy, dans le service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, dirigé par le Professeur Gilles Dautel (Centre Chirurgical Émile Gallé, CHRU de Nancy). Durant ce semestre, j'ai débuté mon travail de thèse d'exercice sur le thème de la chirurgie du poignet ligamentaire et l'instabilité scapholunaire, sujet qui deviendra un de mes principaux axes de recherche. Nous avons ainsi décrit notre nouvelle technique chirurgicale intitulée « ligamentoplastie ScaphoLunaire et InterCarpienne », ses objectifs et ses étapes. Cette procédure aura fait l'objet d'évaluations anatomiques, cliniques prospectives et en 4DCT. Ces études s'intègrent dans le cadre d'un protocole de recherche clinique approuvé par le Comité de Protection des Personnes Est-III, intitulé : Chirurgie de reconstruction ligamentaire du complexe scapholunaire « Étude SLIC ».

Afin de poursuivre ma formation en chirurgie de la main, mes deux derniers stages d'internat ont été réalisés dans le service de chirurgie de la main et du membre supérieur – Urgence Main Auvergne, à l'Hôpital privé La Chataigneraie, à Clermont-Ferrand. En complément, j'ai également réalisé deux fellowship nationaux en chirurgie de la main ; un semestre au sein du même service de Clermont-Ferrand puis un deuxième semestre à l'institut de la main Nantes Atlantique – SOS main, à l'Hôpital privé Jeanne D'arc, à Nantes.

Durant cette période d'internat, j'ai obtenu mon diplôme de Docteur en médecine, mon DES en chirurgie générale puis mon DESC en chirurgie orthopédique et traumatologie. Par la suite, j'ai occupé le poste de chef de clinique – assistant en chirurgie de la main, dans le service du Professeur Gilles Dautel, au CHRU de Nancy, de novembre 2016 à septembre 2019. Grâce à la validation de mes DIU de microchirurgie, de chirurgie de la main et d'anatomie chirurgicale des lambeaux, j'ai pu obtenir mon droit au titre en chirurgie de la main en 2018, et être par

ailleurs, membre des collèges français des chirurgiens orthopédistes et traumatologues, et des enseignants en chirurgie de la main en 2019.

Sur le plan scientifique, en 2017, j'ai fait mon SIR au sein du laboratoire IADI, INSERM U1254, CIC-IT Nancy, Université de Lorraine, sur « l'analyse comparative en radiographie versus 4DCT des résultats de la ligamentoplastie ScaphoLunaire et InterCarpienne dans le traitement des instabilités scapholunaires », sous l'orientation du Professeur Jacques Felblinger, directeur du laboratoire. Dans le cadre de ce stage, ce nouvel outil d'imagerie dynamique a montré une supériorité par rapport à l'analyse en radiographie standard, permettant d'envisager son utilisation dans des études de recherches cliniques portant sur le poignet, en particulier les os du carpe.

En 2018, j'ai validé mon Master 2 Ingénierie de la Santé, parcours Bio ingénierie, nanosanté, médicaments, Qualité, Spécialité Recherche, à Faculté de Pharmacie de Nancy. Au sein du laboratoire IADI, sous la direction du Professeur Gondim Teixeira Pedro Augusto, j'ai étudié « l'apport du 4DCT dans le bilan diagnostique des instabilités scapholunaires du poignet ». Cette étude s'intègre dans le cadre d'un protocole de recherche clinique approuvé par le Comité de Protection des Personnes Est-III et intitulé : Analyse couplée des anomalies morphologiques et biomécaniques des ligaments carpiens « Étude EDLIS ». Le laboratoire IADI, sous la direction du Professeur Jacques Felblinger, a été un soutien majeur pour l'aboutissement de cette étude et la construction de mon projet doctoral. Ainsi, sous la direction du Professeur Gondim Teixeira Pedro Augusto, j'ai pu soutenir en 2021, ma thèse de Docteur en sciences de la vie et de la santé, à l'Université de Lorraine portant sur « l'intérêt de l'imagerie dynamique 4-Dimensions dans la prise en charge chirurgicale des instabilités scapholunaires ».

Le fils conducteur qui s'est établi tout au long de ce parcours scientifique, depuis le SIR jusqu'au doctorat, m'a permis d'obtenir l'assurance d'une pertinence clinique de mes résultats. De même, de nombreuses perspectives de recherche ont été soulevées avec notamment la validation et la mise en place d'un dispositif de guidage du mouvement du poignet pour l'imagerie dynamique. En effet, afin d'homogénéiser la reproductibilité du mouvement du poignet, mais également d'en calculer l'amplitude lors de l'acquisition en imagerie dynamique, nous nous sommes intéressés, avec Nicolas Weber, ingénieur d'études, et le Professeur Jacques Felblinger, à la conception de ce dispositif de recherche permettant de répondre à cette problématique.

Les résultats de mes travaux de recherche de doctorat ont fait l'objet de communications aux congrès annuels de l'American Society for Surgery of the Hand en 2019, 2020 et 2021, me permettant de devenir membre de la société américaine de chirurgie de la main en 2021.

Depuis septembre 2019, j'ai été nommé praticien hospitalier universitaire – PHU – en chirurgie orthopédique et traumatologie, au sein du service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur du CHRU de Nancy, tout en gardant un lien fort avec le laboratoire IADI.

Dès la prise de mes fonctions hospitalo-universitaires, en novembre 2016, je me suis engagé sur plusieurs projets de recherche scientifique portant sur la chirurgie de la main, du poignet et des nerfs périphériques. De nombreuses études cliniques, anatomiques et biomécaniques ont été menées et publiées, mettant en collaboration différents services et acteurs. J'ai encadré de nombreux internes pour la réalisation de ces projets, avec la direction de plusieurs SIR et thèses d'exercice en médecine. D'importantes techniques chirurgicales ont pu être évaluées afin d'améliorer, in fine, notre pratique clinique. De nombreuses améliorations ont pu être apportées à certaines de nos techniques chirurgicales afin de perfectionner nos résultats. Nous avons également décrit de nouvelles procédures, notamment en chirurgie du poignet, avec systématiquement une grande rigueur dans l'évaluation des performances.

L'ensemble des patients inclus dans ces différentes études ont été vus en consultation par l'équipe du service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur du Centre Chirurgical Émile Gallé (CHRU de Nancy), dirigée par le Professeur Gilles Dautel. Les évaluations cliniques et radiographiques ont été effectuées lors de ces consultations. De même, les patients ayant bénéficié d'une chirurgie ont tous été opérés par cette même équipe chirurgicale. Dans le service d'imagerie Guilloz (CHRU de Nancy), dirigé par le Professeur Alain Blum, nous avons travaillé avec le scanner à 320 détecteurs (Aquilion ONE, Canon Medical Systems, Otawara, Japan). Ce scanner représentait, lors de son installation, une véritable avancée scientifique, car il était le premier scanner à large système de détection installé en France. Grâce à sa rangée de 320 détecteurs de 0,5 mm, il permet l'acquisition de 16 cm de données dans l'axe z, en une seule rotation du tube. L'analyse des images en 4DCT a été réalisée avec une station de travail de post-traitement indépendant, à l'aide de l'application 4D Ortho (Vitrea, version 7.0; Canon Medical Systems). Les pièces anatomiques provenaient du Laboratoire d'Anatomie de Nancy (Faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine), dirigé par le Professeur Marc Braun, où nous avons pu réaliser la

préparation et la dissection des spécimens. Le travail de mise au point des techniques de chirurgie et leur évaluation biomécanique a été mené au sein de l'École de Chirurgie de Nancy-Lorraine (Faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine), co-dirigée par le Professeur François Sirveaux et par le Docteur Nguyen Tran. Les travaux d'élaboration des protocoles d'études, de réalisation des supports méthodologiques, d'analyse des résultats ainsi que de développement des dispositifs de recherche ont été réalisés au sein du Laboratoire IADI. Le laboratoire est spécialisé dans les techniques et méthodes pour améliorer l'imagerie des organes en mouvement, le traitement de l'image, la méthodologie et les validations cliniques. Basée au sein du CHRU de Nancy-Brabois, l'unité U1254 bénéficie du support du CIC-IT Nancy (Centre d'Investigation Clinique – Innovation Technologique) et entretient des liens privilégiés avec les différents services des pôles d'imagerie et de l'appareil locomoteur du CHRU de Nancy. Le service d'imagerie Guilloz dispose de temps de recherche sur TDM et IRM permettant ainsi une mise en œuvre et une validation rapide des méthodes de recherche développées.

Durant l'année 2021, j'ai effectué une année de mobilité en tant que « research fellow » à l'Université de Genève, en Suisse. Au cours de cette année, sous l'orientation du Professeur Jean-Yves Beaulieu, j'ai étudié l'arthroplastie trapézo-métacarpienne pour le traitement de la rhizarthrose, en collaboration avec de nombreux ingénieurs en biomécanique et majoritairement sur modèle cadavérique. J'ai renforcé mon niveau en anglais scientifique. J'ai également encadré un Master 2 ingénieur. Nous avons utilisé des dispositifs biomécaniques avancés tels que le banc d'essai électromécanique MTS Criterion® série 40 (MTS Systems Corporation, États-Unis) permettant d'effectuer des tests de compression, ou encore le capteur de force FlexiForce™ sensor (Tekscan®, Inc., États-unis) afin de mesurer directement des charges au sein de l'articulation trapézo-métacarpienne.

Au sein du département d'anatomie de la faculté de médecine de l'Université de Genève, en association avec mon collègue Florent Moissenet, Docteur en biomécanique, j'ai travaillé sur l'évaluation de la mobilité des os de l'avant-bras et du carpe au cours des mouvements fonctionnels du poignet, à différents niveaux lésionnels, osseux et ligamentaires. Pour cela, nous avons utilisé des technologies récentes, à savoir l'impression 3D de titane (Direct metal laser sintering 3D printer, RenAM 500S, Renishaw®, United Kingdom) et le robot industriel, sensitif et collaboratif KUKA® LBR IIWA (Robotics Corporation, Allemagne). Les manipulations étaient réalisées sur des membres supérieurs cadavériques frais. Cette expérience m'a permis d'apprécier la complexité technique de la mise en place et de l'utilisation de tels outils, ainsi que la nécessité d'une approche multidisciplinaire pour la recherche dans ce

domaine. J'ai également encadré un interne en chirurgie de la main pour la réalisation de son SIR puis de sa thèse d'exercice en médecine.

En novembre 2021, j'ai été auditionné par le Conseil National des Universités (CNU) sous-section 50-02 de Chirurgie Orthopédique et Traumatologie en vue de candidater au concours pour le titre de Professeur des universités-praticien hospitalier (PU-PH) en chirurgie Orthopédique et Traumatologie. La commission a émis **un avis très favorable** à ma candidature (Annexe 1).

En tant que chirurgien de la main, j'ai systématisé mes axes de recherches en trois entités, correspondant aux grands thèmes de la spécialité : le poignet et le carpe, le pouce et les doigts longs et enfin, les nerfs périphériques et le plexus brachial. Une attention particulière est constamment portée sur la pertinence clinique de chacun des projets de recherche. Ainsi, la finalité doit tendre soit vers l'amélioration du diagnostic de la pathologie abordée afin de proposer au patient le traitement le plus adapté, soit vers l'optimisation de la stratégie chirurgicale avec le développement et/ou le raffinement de techniques opératoires, mais aussi la précision dans l'évaluation des résultats postopératoires.

Ce manuscrit est divisé en 4 parties : cette introduction générale, mon épreuve de titres et travaux, une description résumée de mon activité de recherche et d'encadrement, et enfin la présentation des perspectives à court et moyen terme de mon activité de recherche.

Ci-dessous deux tableaux récapitulatifs de mon activité de recherche et d'enseignement :

Activité	Nombre
Articles publiés	<b>46</b> - 26 en premier auteur - 8 en dernier auteur
Publications dans des revues pédagogiques	<b>3</b>
Présentations scientifiques dans des congrès	<b>41</b>
Master 2 encadrés	<b>2</b>
Stages d'initiation à la recherche encadrés	<b>10</b>
Thèses d'exercice encadrées	<b>11</b>
Thèses d'université co-encadrées	<b>1</b>

<b>Étudiant</b>	<b>Diplôme</b>	<b>Encadrement</b>	<b>Sujet</b>	<b>Valorisation (position encadrant)</b>
<i>Romain GILLET</i>	Thèse d'université	50%	Imagerie Haute Résolution et Dynamique en IRM et en Scanner	Thèse en cours
<i>Romain DETAMMAECKER</i>	Thèse de médecine	100%	« Réanimation du deltoïde par transfert nerveux d'une branche motrice du triceps sur le nerf axillaire »	Article soumis (dernier auteur et auteur correspondant)
<i>Sophie SABAU</i>	Thèse de médecine	100%	« Arthrodèse des quatre os avec plaque de verrouillage dorsal : suivi de 4 à 9 ans »	Article publié (premier auteur et auteur correspondant)
<i>Yoan Kim DE ALMEIDA</i>	Thèse de médecine	75%	« Recul en îlot du muscle premier interosseux dorsal dans la pollicisation de l'index chez l'enfant : étude anatomique de la vascularisation, de l'innervation et technique chirurgicale »	Deux articles : - publié (dernier auteur) - publié (deuxième auteur)
<i>Hugo MASCHINO</i>	Thèse de médecine	75%	« Réanimation du muscle supinateur par transfert nerveux d'une branche motrice du rond pronateur sur le nerf radial »	Article soumis (dernier auteur et auteur correspondant)
<i>Anne-Charlotte SEAOURT</i>	Thèse de médecine	100%	« Arthroplastie trapézo-métacarpienne par implant Maia versus trapézectomie avec interposition : étude rétrospective comparative à long terme »	Article publié (dernier auteur et auteur correspondant)
<i>Jonathan GRANERO</i>	Thèse de médecine	100%	« Corrélation entre évaluations arthroscopique et arthroscannographique dynamique 4D des instabilités scapholunaires du poignet : À propos de 16 cas »	Article publié (dernier auteur et auteur correspondant)
<i>Antoine MARTINS</i>	Thèse de médecine	100%	« Arthroplastie par implant Moovis® pour le traitement de l'arthrose trapézo-métacarpienne : résultats au recul de 2 à 6 ans »	Article publié (dernier auteur et auteur correspondant)
<i>Bérangère LAMON</i>	Thèse de médecine	100%	« Greffe osseuse sous arthroscopie des pseudarthroses du scaphoïde : technique chirurgicale et résultats d'une série bicentrique de 42 cas »	Article publié (dernier auteur et auteur correspondant)



<b><i>Martin CHOLLEY-ROULLEAU</i></b>	Thèse de médecine	100%	« L'arthrodèse scapho-trapézo-trapézoïdienne dans le traitement chirurgical de l'arthrose isolée : à propos d'une série de 22 cas au recul de 8 ans »	Article publié (dernier auteur)
<b><i>Claire MULLER</i></b>	Thèse de médecine	75%	« Utilisation d'un lambeau vascularisé de fibula bifoliée pour la reconstruction du radius distal : série de 6 cas »	Article publié (deuxième auteur)
<b><i>Lucille AUBERSON</i></b>	Thèse de médecine	100%	« Influence de la déformation sagittale du radius distal sur la pronosupination de l'avant-bras : une étude cadavérique »	Article publié (dernier auteur)
<b><i>Arnaud CITAREL</i></b>	Master 2	50%	« Méthodologie d'analyse tridimensionnelle du radius pour la planification opératoire »	Article publié (premier auteur et auteur correspondant)
<b><i>Mariette BERGERE</i></b>	Master 2	50%	« Étude de la biomécanique de l'articulation trapézo-métacarpienne native et prothésée »	Deux articles : - publié (premier auteur et auteur correspondant) - publié (premier auteur et auteur correspondant)
<b><i>Guillaume BOLLMANN</i></b>	SIR	100%	« Intérêt de l'analyse cinématique en imagerie dynamique dans l'évaluation de l'efficacité des ligamentoplasties scapholunaires »	Article publié (premier auteur et auteur correspondant)
<b><i>Marie-Cécile SAPA</i></b>	SIR	100%	« Une nouvelle capsulotomie comme abord dorsal du poignet : étude cadavérique »	Article publié (dernier auteur et auteur correspondant)
<b><i>Nicols REITH</i></b>	SIR	50%	« Évaluation de la mobilité tridimensionnelle des os du carpe à différents niveaux lésionnels ligamentaires »	Article soumis (dernier auteur et auteur correspondant)
<b><i>Yoan-Kim DE ALMEIDA</i></b>	SIR	100%	« Modélisation et planification préopératoire assistée par ordinateur de l'ostéotomie correctrice des cals vicieux extra-articulaires de l'extrémité distale du radius »	Article publié (premier auteur et auteur correspondant)
<b><i>Marie MARTEL</i></b>	SIR	100%	« Comparaison de la force de pincement pollici-digitale après trois interventions chirurgicales pour arthrose trapézo-métacarpienne »	Article publié (premier auteur et auteur correspondant)

<i>Lucille AUBERSON</i>	SIR	100%	« Comparaison de deux repères radiographiques pour le centrage de l'implant trapézien dans l'arthroplastie totale trapézo-métacarpienne »	Article publié (premier auteur et auteur correspondant)
<i>Benjamin DEGEORGE</i>	SIR	100%	« Arthroplastie de l'articulation interphalangienne proximale par prothèse Tactys® : Résultats cliniques et radiographiques au recul minimum de 12 mois »	Article publié (deuxième auteur)
<i>Jonathan GRANERO</i>	SIR	100%	« Étude cadavérique de la ligamentoplastie du ligament collatéral ulnaire dans le traitement des instabilités chroniques du pouce »	Article publié (deuxième auteur)
<i>Aurélie WOLF-MANDROUX</i>	SIR	100%	« Le lambeau pédiculé à partir de la première branche dorsale de l'artère digitale palmaire propre des doigts longs : étude anatomique cadavérique »	Article publié (dernier auteur)
<i>Romain DETAMMAECKER</i>	SIR	100%	« Effet de différentes positions d'attelle sur la relaxation des tendons fléchisseurs »	Article publié (premier auteur et auteur correspondant)

## 4. TITRES ET TRAVAUX

### 4.1. FORMATION ET TITRES UNIVERSITAIRES

<b>11.2020 – 11.2021</b>	Research Fellow	<i>Université de Genève, Genève, Suisse. Coordination : Professeur Jean-Yves Beaulieu</i>
<b>2021</b>	Docteur en sciences de la vie et de la santé	<i>École Doctorale BioSE - Laboratoire IADI, INSERM U1254, Université de Lorraine. Direction : Professeur Pedro Teixeira</i>
<b>09.2019 – ce jour</b>	Praticien Hospitalier Universitaire	<i>Service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, CHRU de Nancy</i>
<b>2019</b>	Collège français des enseignants en chirurgie de la main	<i>Société Française de Chirurgie de la Main.</i>
<b>2018</b>	Master 2 Ingénierie de la Santé	<i>Faculté de Pharmacie de Nancy - Laboratoire IADI, INSERM U1254, Université de Lorraine. Direction : Professeur Pedro Teixeira</i>
<b>2018</b>	Collège français des chirurgiens orthopédistes et traumatologues	<i>Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique.</i>
<b>2018</b>	Droit au titre en chirurgie de la main	<i>Société Française de Chirurgie de la Main ;</i>
<b>2017</b>	Stage d'initiation à la recherche	<i>Laboratoire IADI, INSERM U1254, Université de Lorraine. Orientation : Professeur Jacques Felblinger</i>
<b>2017</b>	DESC de chirurgie orthopédique et traumatologie	<i>Faculté de médecine de Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne.</i>
<b>11.2016-09.2019</b>	Chef de Clinique – Assistant en chirurgie de la main	<i>Service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, CHRU de Nancy.</i>
<b>05.2016–11.2016</b>	Fellowship en chirurgie de la main	<i>Service de chirurgie de la main et du membre supérieur – Urgence Main Auvergne, Hôpital privé La Chataigneraie, Clermont-Ferrand.</i>
<b>2016</b>	Docteur en Médecine	<i>Faculté de médecine de Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne. Direction : Professeur Gilles Dautel</i>
<b>2016</b>	DES de chirurgie générale	<i>Faculté de médecine de Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne.</i>
<b>2015</b>	DU d'anatomie chirurgicale des lambeaux	<i>Faculté de médecine de Bordeaux, Université de Bordeaux.</i>
<b>2014</b>	DIU de chirurgie de la main	<i>Faculté de médecine Paris Descartes V, Université de Paris.</i>
<b>05.2014-11.2014</b>	Fellowship en chirurgie de la main	<i>Institut de la main Nantes Atlantique – SOS main, Hôpital privé Jeanne D'arc, Nantes.</i>
<b>2013</b>	DU de microchirurgie	<i>Faculté de médecine de Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne.</i>
<b>2010-2016</b>	Internat en chirurgie	<i>Faculté de médecine de Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne.</i>
<b>2009</b>	Diplôme de fin de deuxième cycle des études médicales	<i>Faculté de médecine de Marseille, Université Aix-Marseille.</i>
<b>2004</b>	Reçu au concours de fin de PCEM 1	<i>Faculté de médecine de Marseille, Université Aix-Marseille</i>

## 4.2. SITUATION ACTUELLE

Activités cliniques	<b>Praticien Hospitalier Universitaire</b> <i>Service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, CHRU de Nancy, Université de Lorraine.</i>
Recherche	<b>Chercheur clinique en chirurgie de la main, du poignet et des nerfs périphériques</b> <i>Service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, CHRU de Nancy, Université de Lorraine.</i> <b>Affiliation à une structure de recherche</b> <i>Laboratoire IADI, INSERM U1254, CIC-IT Nancy, Université de Lorraine.</i>

## 4.3. ACTIVITÉ CLINIQUE

Mon activité clinique, réalisée au sein du service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, Pôle Lorrain de l'appareil locomoteur, Centre Chirurgical Émile Gallé, CHRU de Nancy, est centrée sur la chirurgie programmée et d'urgence, de la main, du poignet, des nerfs périphériques et du plexus brachial. Le service est labellisé SOS Main et fait partie des centres FESUM. Les autres thématiques de compétence du centre sont représentées par la microchirurgie reconstructrice des membres, la chirurgie de la spasticité du membre supérieur et enfin la chirurgie carcinologique de la main, du poignet et des nerfs périphériques. Le service appartient au réseau « sarcomes osseux et tumeurs osseuses rares » (collaboration avec l'Institut de Cancérologie de Lorraine – Alexis Vautrin).

Le service a également en charge le SOS main enfants et la chirurgie des malformations congénitales de la main et du membre supérieur aux Hôpitaux de Brabois, CHRU de Nancy.

Dans ce service, je travaille comme médecin senior et j'encadre les étudiants en médecines (externes) et les internes.

Je participe également au pool d'astreintes SOS main adulte et enfant.

Le service compte 3 médecins seniors, dont deux PU-PH.

En 2019, le nombre d'interventions était de 7251. Les hospitalisations étaient de 7213 avec 2047 en secteur et 5166 en ambulatoire. On notait 9777 passages aux Urgences, 24192 consultations chirurgicales et 22343 prescriptions radiographiques. Le DMS était de 2,14.

En 2020, le nombre d'interventions était de 6418. Les hospitalisations étaient de 6371 avec 1644 en secteur et 4727 en ambulatoire. On notait 9617 passages aux Urgences, 19327 consultations chirurgicales et 22828 prescriptions radiographiques. Le DMS était de 2,13.

#### 4.3.1. Tableau d'activité clinique des trois dernières années

Nombre	2018	2019	2020
Nombre de consultations (/an)	1538	1497	1279
Nombre de visites (/an)	150	150	150
Nombre d'actes (/an)	603	598	479
Nombre de gardes/astreintes (/an)	40	35	21

Description qualitative et quantitative de l'activité :

- Blocs opératoires : 2 à 3 demi-journées par semaine
- Consultations : 3 demi-journées par semaine

#### 4.4. PUBLICATIONS

##### 4.4.1. Tableau récapitulatif des publications indexées

Journal	FI	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Eur J Orthop Surg Traumatol</b>	1.79	2							
<b>J Pediatr Orthop B</b>	0.832	2							
<b>Hand Surg Rehabil</b>	0.961			1	1	1,1,2	1,2,AD	1,2,D	1,1,1,1,1,2,D,1,2
<b>J Hand Surg Eur Vol.</b>	2.688					1,1	1,1,1	1,D	1,1,1,D
<b>J Hand Surg Am Vol.</b>	2.124							1	1,D
<b>J Med Vasc</b>	0.25					1			
<b>Morphologie</b>	1.038							1	D
<b>AJR Am J Roentgenol</b>	3.013								AD
<b>J Wrist Surg</b>	/								1
<b>J Hand Surg AP</b>	2.09								D,D
<b>Eur Radiol</b>	3.579								AD, AD

1 : 1<sup>er</sup> auteur ; 2 : 2<sup>e</sup> auteur ; AD : avant-dernier auteur ; D : dernier auteur ; FI : Facteur d'impact

Le Conseil National des Universités (CNU) sous-section 50-02 de Chirurgie Orthopédique et Traumatologie propose d'évaluer l'activité de recherche, en termes de publications scientifiques, sur la base d'une pondération faite en fonction de deux critères fondamentaux :

1. Revues dites exceptionnelles au sein de la discipline.

Dans cette catégorie, je compte **11 publications** pour le *Journal Hand Surgery European Volume* et **3 publications** pour le *Journal Hand Surgery American*. Ces deux revues représentent celles à plus haut « impact factor » dans la spécialité « Chirurgie de la main ».

2. Organes officiels des sociétés nationales ou internationales d'orthopédie et de spécialités orthopédiques.

Dans cette catégorie, je compte des publications dans les revues :

- *Journal Hand Surgery European Volume*: Federation of European Societies for Surgery of the Hand (*FESSH*). **11 publications**
- *Journal Hand Surgery American*: The American Society for Surgery of the Hand (*ASSH*). **3 publications**
- *Hand Surgery & Rehabilitation*: Société Française de Chirurgie de la Main (*SFCM*), Belgian Hand Group (*BHG*), Swiss Societies for Surgery of the Hand (*SGH*). **20 publications.**
- *Journal of Pediatric Orthopaedics B*: International Federation of Paediatric Orthopaedic Societies (*IFPOS*). **1 publication.**

#### 4.4.2. Articles dans des revues avec Comité de Lecture (ACL)

##### ACL-1.

**Khan A, Athlani L, Rousset M, Samba A, Canavese F.** Functional results of displaced proximal humerus fractures in children treated by elastic stable intramedullary nail. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014, 24(2):165-72.

##### ACL-2.

**Canavese F, Athlani L, Marengo L, Rousset M, Rouel-Rabiau N, Samba A, Andreacchio A.** Evaluation of upper-extremity function following surgical treatment of displaced proximal humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop B.* 2014, 32(2):144-9.

##### ACL-3.

**Athlani L, Gaisne E, Bellemère P.** Arthroplasty of the proximal interphalangeal joint with the TACTYS® prosthesis: preliminary results after a minimum follow-up of 2 years. *Hand Surg Rehabil.* 2016, 35(3):168-178.

##### ACL-4.

**Athlani L, Haloua JP.** Strickland's hypothenar fat pad flap for revision surgery in carpal tunnel syndrome: Prospective study of 34 cases. *Hand Surg Rehabil.* 2017, 36(3):202-207.

##### ACL-5.

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018, 43(4):387-393.

##### ACL-6.

**Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, Dautel G.** Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. *Hand Surg Rehabil.* 2018, 37(2):65-76.

##### ACL-7.

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Outcomes of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation. A prospective study in 26 patients. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018, 43(7):700-707.

##### ACL-8.

**Degeorge B, Athlani L, Dap F, Dautel G.** Proximal interphalangeal joint arthroplasty with Tactys: Clinical and radiographic results with a minimum follow-up of 12 months. *Hand Surg Rehabil.* 2018, 37(4):218-224.

##### ACL-9.

**Athlani L, De Almeida YK, Maschino H, Dap F, Dautel G.** Hypothenar hammer syndrome: A case of a late complication after surgery. *Hand Surg Rehabil.* 2018, 37(5):316-319.

##### ACL-10.

**Athlani L, De Almeida YK, Maschino H, Dap F, Dautel G.** Hypothenar hammer syndrome: A recurrent case report after surgery. *J Med Vasc.* 2018, 43(5):320-324.

#### **ACL-11.**

**De Almeida YK, Athlani L, Dap F, Dautel G.** Distal interphalangeal joint arthrodesis using the X-Fuse® implant: a retrospective study of 54 fingers with 24 months' follow-up. *Hand Surg Rehabil.* 2019, 38(3):186-190.

#### **ACL-12.**

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Treatment of chronic scapholunate instability: results with three-ligament tenodesis versus scapholunate and intercarpal ligamentoplasty. *Hand Surg Rehabil.* 2019, 38(3):157-164.

#### **ACL-13.**

**De Almeida YK, Piessat C, Athlani L, Dap F, Dautel G.** Pisiformectomy in advanced pisotriquetral joint arthritis: a retrospective study of 12 wrists with a mean follow-up of 7.5 years. *Hand Surg Rehabil.* 2019, 38(3):165-168.

#### **ACL-14.**

**Athlani L, Granero J, Dap F, Dautel G.** Avascular necrosis of the capitate: a case series of five patients and review of the literature. *J Hand Surg Eur Vol.* 2019, 44(7):702-707.

#### **ACL-15.**

**Athlani L, Detammaecker R, Touillet A, Dautel G, Foisneau.** Effect of different positions of splinting on flexor tendon relaxation: a cadaver study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2019, 44(8):833-837.

#### **ACL-16.**

**Athlani L, Rouizi K, Granero J, Gabriela H, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA.** Assessment of scapholunate instability with dynamic computed tomography. *J Hand Surg Eur Vol.* 2020, 45(4):375-382.

#### **ACL-17.**

**Granero J, Athlani L, Dautel G.** Radiological evaluation of ulnar thumb metacarpophalangeal ligament reconstruction for chronic thumb instability in cadavers. *Hand Surg Rehabil.* 2020, 39(2):120-124.

#### **ACL-18.**

**Martins A, Charbonnel S, Lecomte F, Athlani L.** The Moovis® implant for trapeziometacarpal osteoarthritis: results after 2 to 6 years. *J Hand Surg Eur Vol.* 2020, 45(5):477-482.

#### **ACL-19.**

**Athlani L, Chenel A, Detammaecker R, De Almeida YK, Dautel G.** Computer-assisted 3D preoperative planning of corrective osteotomy for extra-articular distal radius malunions: a case series of 16 patients. *Hand Surg Rehabil.* 2020, 39(4):275-283.

#### **ACL-20.**

**Athlani L, Delgove A, Dautel G, Casoli V.** Anatomy of the ulnar nerve in the posterior compartment of the upper arm: relationships with the triceps brachii muscle. *Morphologie.* 2020, 104(345):85-90.



#### **ACL-21.**

**Athlani L, Chenel A, Berton P, Detammaecker R, Dautel G.** Three-dimensional versus radiographic measurements for analyzing extra-articular distal radius malunion. *J Hand Surg Am.* 2020, 45(10):984.e1-984.e7.

#### **ACL-22.**

**Wolf-Mandroux A, Detammaecker R, De Almeida YK, Krebs M, Dautel G, Athlani L.** Pedicled Flap from the First Dorsal Branch of the Proper Palmar Digital Artery of the Fingers: An Anatomy Study. *Hand Surg Rehabil.* 2020, 39(5):431-436.

#### **ACL-23.**

**Athlani L, Sabau S, Pauchard N, Dap F, Dautel G.** Four-corner Arthrodesis with a Dorsal Locking Plate: 4-9-year Follow-Up. *J Hand Surg Eur Vol.* 2020, 45(7):673-678.

#### **ACL-24.**

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Intercarpal ligamentoplasty for scapholunate dissociation: comparison of two techniques. *J Hand Surg Eur Vol.* 2021, 46(3):278-285.

#### **ACL-25.**

**Gondim Teixeira PA, Blanc JB, Rauch A, Abou Arab W, Hossu G, Athlani L, Blum A.** Evaluation of dorsal subluxation of the scaphoid in patients scapholunate ligament tears: a four-dimensional CT study. *AJR Am J Roentgenol.* 2021, 216(1):141-149.

#### **ACL-26.**

**Athlani L, Granero J, Rouizi K, Hossu G, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA.** Evaluation of dorsal scaphoid displacement using posterior radioscapoid angle in patients with suspected scapholunate instability: a preliminary study. *Journal Hand Surgery Am.* 2021, 46(1):10-16.

#### **ACL-27.**

**Athlani L, Rauch A, Weber N, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA.** Quantitative Four-dimensional CT evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for scapholunate dissociation: a cadaveric study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2021, 46:536-539.

#### **ACL-28.**

**Athlani L, Sapa MC, De Almeida YK, Braun M, Dautel G.** A new capsulotomy-based dorsal approach to the wrist: a cadaver study. *Hand Surg Rehabil.* 2021, 40:134-138.

#### **ACL-29.**

**Athlani L.** Trapezometacarpal joint ligamentoplasties in early stage of first carpometacarpal joint osteoarthritis. *Hand Surg Rehabil.* 2021, 40S:S42-S45.

#### **ACL-30.**

**De Almeida YK, Krebs M, Braun M, Dap F, Dautel G, Athlani L.** Innervation and vascular supply of the first dorsal interosseous muscle and palmar interosseous muscle of the index: An anatomic descriptive study. *Morphologie.* 2021, 19:S1286-0115(20)30129-6.

#### **ACL-31.**

**Blum AG, Gillet R, Athlani L, Prestat A, Zully S, Wahl D, Dautel G, Gondim Teixeira P.** CT angiography and MRI of hand vascular lesions: technical considerations and spectrum of imaging findings. *Insights Imaging*. 2021, 12(1):16.

#### **ACL-32.**

**Seaourt AC, Dap F, Dautel G, Athlani L.** Comparison between the MAIA® implant and trapeziectomy for trapeziometacarpal osteoarthritis: outcomes at 9 years' follow-up. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2021, 26(2):158-165.

#### **ACL-33.**

**Cholley-Rouleau M, Dap F, Dautel G, Athlani L.** Scaphotrapeziotrapezoid arthrodesis for isolated osteoarthritis: results at a mean 8 years' follow-up. *Hand Surg Rehabil*. 2021, 13:S2468-1229(21)00149-3.

#### **ACL-34.**

**Athlani L, Auberson L, Motte D, Moissenet F, Beaulieu JY.** Comparison of two radiographic landmarks for centering the trapezium component in total trapeziometacarpal arthroplasty. *Hand Surg Rehabil* 2021, 13:S2468-1229(21)00148-1.

#### **ACL-35.**

**Athlani L, Motte D, Martel M, Moissenet F, Mottet J, Beaulieu JY.** Comparison of simulated key pinch after three surgical procedures for trapeziometacarpal osteoarthritis: a cadaver study. *J Hand Surg Eur Vol*. 2021, 18:17531934211015915.

#### **ACL-36.**

**Athlani L, Granero J, Rouizi K, Hossu G, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA.** Four-Dimensional CT Analysis of Dorsal Intercalated Segment Instability in patients with Suspected Scapholunate Instability. *Journal Wrist Surgery*. 2021, 10(3):234-240.

#### **ACL-37.**

**Athlani L, Dautel G.** Coverage of soft tissue defects in the thumb: essential flaps in daily practice. *Hand Surg Rehabil*. 2021, 5:S2468-1229(21)00190-0.

#### **ACL-38.**

**Athlani L, Motte D, Bergere M, Mottet J, Beaulieu JY, Moissenet F.** Assessment of trapezium prosthetic cup migration: a biomechanical study. *Hand Surg Rehabil*. 2021, 12:S2468-1229(21)00194-8.

#### **ACL-39.**

**Lamon B, Ardouin L, Bellemère P, Dautel G, Athlani L.** Arthroscopic bone grafting for scaphoid nonunion: a retrospective study of 42 cases. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2021, 26(4):545-554.

#### **ACL-40.**

**De Almeida YK, Athlani L, Piessat C, Delgove A, Dap F, Dautel G.** Pollicization in the treatment of congenital severe hypoplasia and aplasia of the thumb: a systematic review. *Hand Surg Rehabil*. 2021, 20:S2468-1229(21)00595-8.

#### ACL-41.

**Granero J, Orkut S, Rauch A, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA, Athlani L.** Correlation between dynamic 4D computed tomography data and arthroscopic testing of scapholunate instability: a preliminary study. *Journal Hand Surgery Am.* 2022, 8:S0363-5023(21)00767-X.

#### ACL-42.

**Athlani L, Bergere M, Motte D, Prandi B, Beaulieu JY, Moissenet F.** Trapeziometacarpal joint loading during key pinch grip: a cadaver study. *Hand Surg Rehabil.* 2021, 8:S2468-1229(21)00633-2.

#### ACL-43.

**Auberson L, Beaulieu JY, Athlani L.** How sagittal deformity of the distal radius influences the pronosupination: a cadaver study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2021, [Epub ahead of print].

#### ACL-44.

**Muller C, Athlani L, Barbary S, Dautel G.** Reconstruction of the distal radius using a double-barrel vascularized fibula flap: a case series. *Hand Surg Rehabil.* 2021, 24:S2468-1229(21)00638-1.

#### ACL-45.

**Gondim Teixeira PA, Rouizi K, Moustache-Espinola P, Romain G, Hossu G, Athlani L, Blum A.** Imaging assessment of dorsal scaphoid displacement in patients with scapholunate ligament tears: what is the best option for quantitative assessment? *Eur Radiol.* 2022, [Epub ahead of print].

#### ACL-46.

**Orkut S, Gillet R, Hossu G, Lombard C, Blum A, Athlani L, Gondim Teixeira PA.** Kinematic 4D CT case-control study of wrist in dart throwing motion "in vivo": comparison with other maneuvers. *Eur Radiol.* 2022, [Epub ahead of print].

- Score SIGAPS personnel : **439**
- Score SIGAPS du Service de chirurgie de la main (5 dernières années) : **554**
- Score SIGAPS du Pôle Lorrain de l'appareil locomoteur (5 dernières années) : **1366**
- Score SIGAPS du Laboratoire IADI (5 dernières années) : **2095**

#### 4.4.3. Publications dans des revues pédagogiques

1. **Athlani L, Dautel G.** Couverture cutanée de la main et des doigts. EMC Techniques Chirurgicales – Chirurgie Plastique Reconstructrice et Esthétique. 2020, 45-700.
2. **Athlani L.** Ligamentoplasties stabilisatrices de l'articulation trapézo-métacarpienne dans les stades précoces de rhizarthrose. First carpometacarpal osteoarthritis monograph. *Hand Surgery & Rehabilitation.* 2021, 40S:S42-S45.

3. **Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Mise au point sur les différentes techniques de reconstruction du complexe scapholunaire. Société d'Imagerie Musculo-Squelettique – SIMS. 2022, Opus XVII.

#### 4.4.4. Communications à des congrès

##### 4.4.4.1. Nationaux

1. **Résultats préliminaires de la ligamentoplastie « SLIC » dans le traitement de la dissociation scapholunaire.** 50° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2014.
2. **Résultats préliminaires de la ligamentoplastie « SLIC » dans le traitement de la dissociation scapholunaire.** 90° Congrès de la société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFECOT), Paris, novembre 2015.
3. **Résultats préliminaires de l'arthroplastie de l'articulation inter phalangienne proximale par prothèse TACTYS.** 51° Congrès de la Société d'Orthopédie de l'Ouest (SOO), Nantes, juin 2015.
4. **Résultats préliminaires de l'arthroplastie de l'articulation inter phalangienne proximale par prothèse TACTYS.** 90° Congrès de la société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFECOT), Paris, novembre 2015.
5. **Résultats préliminaires de l'arthroplastie de l'articulation inter phalangienne proximale par prothèse TACTYS.** 51° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2015.
6. **Le Lambeau hypothénarien vascularisé de Strickland dans la chirurgie secondaire du syndrome du canal carpien. Étude prospective à propos de 34 cas.** 91° Congrès de la société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFECOT), Paris, novembre 2016.
7. **Étude biomécanique cadavérique de la ligamentoplastie « SLIC » dans le traitement de la dissociation scapholunaire.** 52° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2016.
8. **La ligamentoplastie SLIC dans le traitement de la dissociation scapholunaire : étude biomécanique cadavérique.** 92° Congrès de la société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFECOT), Paris, novembre 2017.
9. **La ligamentoplastie SLIC dans le traitement de la dissociation scapholunaire : résultats cliniques au recul minimum de 12 mois.** 92° Congrès de la société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFECOT), Paris, novembre 2017.
10. **La ligamentoplastie ScaphoLunaire et InterCarpienne « SLIC » dans le traitement de la dissociation scapholunaire. À propos d'une modification de la technique opératoire.** 53° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2017.
11. **Planification et réalisation assistées par ordinateur des ostéotomies correctrices des cal vicieux extra-articulaires de l'extrémité inférieure du radius : Technique opératoire.** 53° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2017.

12. **ARTHREX Symposium : Des solutions innovantes pour vos chirurgies de la main et du poignet : Ligamentoplastie ScaphoLunaire InterCarpien (SLIC), nouvelle version. Ligamentoplastie du pouce.** 53° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2017.
13. **Traitement de l'instabilité scapholunaire chronique : résultats avec la triple ténodèse versus la ligamentoplastie scapholunaire et intercarpienne.** 93° Congrès de la société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFCOT), Paris, novembre 2018.
14. **Traitement de l'instabilité scapholunaire chronique : résultats avec la triple ténodèse versus la ligamentoplastie scapholunaire et intercarpienne.** 54° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2018.
15. **La ligamentoplastie UTMP pour la reconstruction du ligament latéral interne du pouce : technique chirurgicale.** 54° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2018.
16. **Stryker Symposium : TMC Moovis, IPP Tactys, implant Xfuse : Partage d'expérience et retours cliniques.** 54° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2018.
17. **NEWCLIP TECHNICS PSI Symposium : Les ostéotomies autour du poignet.** 54° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2018.
18. **Utilisation des guides patients spécifiques dans le traitement des cal vicieux de l'extrémité inférieure du radius.** 4° E-Congrès de la Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFCOT), Paris, mars 2019.
19. **Modélisation et planification préopératoire assistées par ordinateur de l'ostéotomie correctrice des cals vicieux du radius distal : technique chirurgicale et résultats d'une série de 14 patients.** 94° Congrès de la société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFCOT), Paris, novembre 2019.
20. **Apport du TDM dynamique 4D au bilan d'évaluation en imagerie des instabilités scapholunaires du poignet.** 55° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2019.
21. **Modélisation et planification préopératoire assistée par ordinateur de l'ostéotomie correctrice des cals vicieux du radius distal extra-articulaire : technique chirurgicale et résultats d'une série de 14 patients.** 55° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2019.
22. **Arthrex Symposium: instabilité Scapho-lunaire en 2019, what's hot what's not. Traitements et techniques de réparation du ligament scapholunaire. Diagnostic en Scanner 4D et SLIC ligamentoplastie.** 55° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2019.

#### 4.4.4.2. Internationaux

1. **ScaphoLunate and InterCarpal Ligamentoplasty as a treatment for chronic scapholunate dissociation.** Congrès annuel de la Société Irlandaise de Chirurgie de la Main (IHSS), Cork, mars 2018.

2. **SLIC – Reconstruction as an alternative to the triple tenodesis for scapholunate dissociation.** *Congrès annuel de la Société Belge de Chirurgie de la main (BHG), Tournai, mai 2018.*
3. **SLIC reconstruction : Further technical refinements.** *Congrès annuel de la Société Belge de Chirurgie de la main (BHG), Tournai, mai 2018.*
4. **Strickland’s hypothenar fat pad flap for revision surgery in carpal tunnel syndrome: Prospective study of 34 cases.** *23° Congrès de la Federation of European Societies for Surgery of the Hand (FESSH), Copenhagen, juin 2018.*
5. **Radiological evaluation of the ScaphoLunate InterCarpal Ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers.** *23° Congrès de la Federation of European Societies for Surgery of the Hand (FESSH), Copenhagen, juin 2018.*
6. **Preliminary results of the ScaphoLunate InterCarpal Ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in a prospective study.** *23° Congrès de la Federation of European Societies for Surgery of the Hand (FESSH), Copenhagen, juin 2018.*
7. **Preliminary results of the scapholunate intercarpal ligamentoplasty in a prospective study.** *73° Annual Meeting of the ASSH, Boston, septembre 2018.*
8. **Radiological evaluation of the scapholunate intercarpal ligamentoplasty in cadavers.** *73° Annual Meeting of the ASSH, Boston, septembre 2018.*
9. **Results with a three-ligament tenodesis versus a scapholunate and intercarpal ligamentoplasty.** *73° Annual Meeting of the ASSH, Boston, septembre 2018.*
10. **Computer-assisted preoperative planning of corrective osteotomy for extra-articular distal radius malunions: Surgical technique and a case series of 10 patients.** *24° Congrès de la Federation of European Societies for Surgery of the Hand (FESSH), Berlin, juin 2019.*
11. **Computer-assisted 3D preoperative planning of corrective osteotomy for extra-articular distal radius malunion: a 16-patient case series.** *75° Congrès de l’American Society for Surgery of the Hand (ASSH), San Antonio, octobre 2020.*
12. **ScaphoLunate and InterCarpal Ligamentoplasty for dynamic and static reducible scapholunate instabilities.** *76° Annual Meeting of the ASSH, San Fransico, octobre 2021.*
13. **Comparison of simulated key pinch after three surgical procedures for trapeziometacarpal osteoarthritis: a cadaver study.** *76° Annual Meeting of the ASSH, San Fransico, octobre 2021.*

#### 4.4.4.3. Prix

- **Prix de la première meilleure communication – Prix Tubiana :** Congrès 2019 de la Société Française de Chirurgie de la Main (SFCM).

## 4.5. ENSEIGNEMENT

### 4.5.1. Tableau récapitulatif des activités d'enseignement

	Année 2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2019-20	2020-21	Coefficient	TOTAL
<b>[1] CHARGES D'ENSEIGNEMENT</b>												
[1a] PACES : nb d'heures de cours magistraux	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	4
[1b] MED2 à MED6 : nb d'heures de cours magistraux	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	1	8
[1g] 3° cycle et autres formations médicales (DES, DESC, DU, DIU)	0	0	0	0	0	22	20	22	20	20	1	104
[1i] Formations paramédicales facultaires : nb d'heures de cours	0	0	0	0	0	12	10	10	10	10	1	52
[1i] Maïeutique : nb d'heures de cours	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0,5	1
[1k] Formations paramédicales extra-facultaires : nb d'heures de cours	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0,5	15
												184
<b>[2] FORMATION PÉDAGOGIQUE</b>												
[2a] Possession d'un DU ou DIU de pédagogie ou équivalent (1=oui)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
[2b] Nombre de journées de formation en pédagogie	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	6
[2c] Titulaire de la certification SIDES (1=oui)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	3
												9
<b>[3] ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES et SERVICES RENDUS</b>												
[3a] Production pédagogique numérique, TICE : nb d'heures de cours	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	3	24
[3b] Publications en pédagogie ou didactique	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2
[3c] Participation à la rédaction d'un polycopié national ou livre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	10
[3d] Participation à la une commission pédagogique de la Faculté (nombre)	0	0	0	0	0	3	1	1	1	0	10	50
[3e] Rédaction de sujets d'examen de fin d'année (1 par dossier ou pour 15 QCM)	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	4
[3g] Responsabilité d'autre UE (1 par UE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	10
												100
											Score SIAPS total	293

#### 4.5.2. Activités d'enseignement universitaire

- Cours FASM 1 : Examen clinique du membre supérieur et de la main
- Cours FASM 3 : Panaris, phlegmons des gaines et des espaces cellulaires de la main. Les fractures de l'extrémité inférieure du radius.
- Cours DES d'orthopédie et traumatologie : Les luxations péri lunaires du carpe
- Cours FST de chirurgie de la main : Lambeaux face palmaire des doigts

#### 4.5.3. Activités d'enseignement locales et réunions hebdomadaires

- Enseignement aux étudiants en médecine (externes) : *Service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, Centre Chirurgical Émile Gallé, CHRU de Nancy.*
  - Cours théoriques d'anatomie de la main et du poignet.
  - Cours pratiques sutures chirurgicales.
- Enseignement aux internes : *Service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, Centre Chirurgical Émile Gallé, CHRU de Nancy.*
  - Formation théorique et pratique sur la chirurgie de la main, du poignet, des nerfs périphériques et du plexus brachial.
- Enseignement aux internes : *École de chirurgie Nancy et Département d'anatomie, Faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine.*
  - Cours pratiques d'anatomie et études cadavériques.
- Enseignement aux infirmier(e)s du pôle Lorrain de l'appareil locomoteur : *Centre Chirurgical Émile Gallé, CHRU de Nancy.*
  - Cours sur la prise en charge d'un patient ayant bénéficié d'une revascularisation, une replantation ou un Lambeau.



- Enseignement aux infirmier(e)s dans le cadre de la formation IBODE : *École de chirurgie Nancy, Faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine.*
  - Cours sur les principes et moyens d'ostéosynthèses en traumatologie osseuse.
- Participation aux staffs de discussion de dossiers cliniques. *Service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur, Centre Chirurgical Emile Gallé, CHRU de Nancy.*
  - Réunion hebdomadaire.
- Participation au comité de concertation multidisciplinaire régional sur les sarcomes osseux et tumeurs osseuses rares. *Institut de Cancérologie de Lorraine - Alexis Vautrin.*
  - Réunion mensuelle.

#### 4.5.4. Activités complémentaires à la Faculté de médecine de Nancy

- Séances de Docimologie.
- Séances de correction des sujets FASM 1, 2 et 3.
- Jury de l'examen oral de certificat de compétence clinique FASM 3.
- Surveillance des examens écrits des UE et ECN blancs.
- Surveillance des ECNi.
- Inscrit sur la plateforme SIDES.

#### 4.5.5. Diplômes Universitaires et Interuniversitaires

Enseignements à la faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine.

- Chirurgie de la main :
  - Cours « Application du principe du doigt banque à la reconstruction digitale en urgence »
  - Cours « Mallet finger osseux, techniques de prise en charge primaire »
  - Cours « Traitement secondaire des cals vicieux du poignet »
  - Cours « Grandes pertes de substances, choix du lambeau »
  - Cours « Amputations primaires et secondaires au niveau des doigts et de la main : choix du niveau, règles de confection du moignon, prévention des névromes »
  - Cours « Les très grandes pertes de substance des membres » : choix du lambeau, stratégie »
  - Cours « Chirurgie secondaire après réparation des tendons extenseurs (Ténolyses, greffes...) »
  - Cours « La réparation primaire des tendons extenseurs »
  - Cours « Fracture de la main et des doigts »
  - Examens oraux
  
- Techniques Microchirurgicales & Supramicrochirurgie :
  - Cours « Matériel microchirurgical, techniques de base pour les sutures vasculaires et nerveuses »
  - Cours « Stratégie de surveillance et de reprise chirurgicale après replantations digitales »
  - Cours « Indication des transferts de péroné au membre supérieur »
  - Cours « Les modèles expérimentaux chez l'animal : Lambeaux cutanés et musculaires chez le rat, autres modèles »
  - Enseignements pratiques à l'École de chirurgie Nancy
  - Examens pratiques

- Arthroscopie session épaule : Cours « Syndromes canaux de l'épaule »
- Plaies et cicatrisations : Cours « Les plaies de la main »
- Médecine de rééducation : Cours « La main traumatique »
- Expérimentation animale : Cours « Techniques microchirurgicales » et Enseignements pratiques à l'École de chirurgie Nancy.

#### 4.5.6. Organisation de congrès et EPU

- Cours pratique annuel de chirurgie de la main de Nancy. *École de chirurgie Nancy, Faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine.*
  - Comité d'organisation et conférencier.
  - Octobre 2016, 2017, 2018, 2019 et 2021.
- Formation du service de santé du SDIS 54 (sapeurs-pompiers) : *État-major départemental 54.*
  - Cours sur le bilan et la prise en charge initiale des accidents de la main.
  - Participation à la rédaction des protocoles pour la prise en charge extra-hospitalière des traumatismes de la main.

#### 4.5.7. Conférences sur invitation

1. **Athlani L, Dautel G.** Scapholunate and intercarpal ligamentoplasty : Reconstruction as an alternative to the 3LT for chronic scapholunate dissociation. *Hand Course, Munich, Allemagne, mars 2017.*
2. **Athlani L.** Paralysie du plexus brachial de l'adulte : stratégies actuelles et intérêts des neurotisations. *32° Congrès Société Française de Médecine Physique et de Réadaptation (SOFMER), Nancy, France, octobre 2017.*
3. **Athlani L, Dautel G.** La ligamentoplastie scapholunaire et intercarpienne : du concept initial à la modification récente. *Cours Européen de chirurgie de la main et du membre supérieur, Paris, France, janvier 2018.*
4. **Athlani L, Dautel G.** Traitement de l'instabilité scapholunaire chronique par la ligamentoplastie scapholunaire et intercarpienne. *Journée Niçoise d'arthroscopie du poignet et de réparation des lésions ligamentaires, Nice, France, février 2018.*
5. **Athlani L, Dautel G.** L'instabilité scapholunaire chronique : des difficultés tant diagnostiques que thérapeutiques. *Cours théoriques et pratiques de chirurgie ligamentaire de la main et du poignet, Lyon, France, avril 2019.*
6. **Athlani L, Dautel G.** Reconstruction du ligament collatéral ulnaire de l'articulation MCP du pouce : la ligamentoplastie « UTMP ». *Cours théoriques et pratiques de chirurgie ligamentaire de la main et du poignet, Lyon, France, avril 2019.*
7. **Athlani L.** Traitement de l'instabilité scapholunaire chronique avant l'arthrose : quelle place pour les ligamentoplasties scapholunaires ? *Symposium de chirurgie ligamentaire du poignet de l'institut de la main Nantes Atlantique, Nantes, France, juin 2019.*
8. **Athlani L, Dautel G.** Scapholunate Dissociation: Current Concepts of the Treatments. *FSSM Hand Course, Munich, Allemagne, septembre 2019.*
9. **Athlani L.** Ostéosynthèse par plaques des fractures des phalanges et des métacarpes. *Cours pratique main & poignet, Strasbourg, France, octobre 2019.*
10. **Athlani L.** Impression 3D : Place dans la chirurgie de la main et du poignet. *55° Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, France, décembre 2019.*
11. **Athlani L.** Arthroplastie de l'articulation trapézo-métacarpienne par implant Moovis®. *Symposium sur l'arthroplastie en chirurgie de la main, Online, France, Mars 2020.*
12. **Athlani L, Dautel G.** Les nouveaux concepts de l'instabilité scapholunaire. *Visio-conférences d'enseignement Français de chirurgie de la main et du membre supérieur, Online, France, avril 2020.*
13. **Athlani L.** Arthrodèse de l'articulation interphalangienne par implant Xfuse®. *Symposium sur la chirurgie de l'arthrose de la main, Paris, France, septembre 2020.*

14. **Athlani L, Gondim Teixeira PA.** Les nouveaux concepts de l'instabilité scapholunaire. *Journées Françaises de Radiologie (JFR), Paris, France, octobre 2020.*
15. **Athlani L.** Technologies CAOS en 2021 : Le poignet. *Journées CAOS 2021, Online, France, juin 2021.*
16. **Athlani L.** Biomechanical analysis of the TMC total joint arthroplasty. *CMC Science Evidence Symposium. Genève, Suisse, juillet 2021.*
17. **Athlani L, Dautel G.** Couverture des pertes de substance cutanées du pouce : quels lambeaux au quotidien ? *57<sup>e</sup> Congrès de la société Française de chirurgie de la Main (GEM), Paris, décembre 2021.*
18. **Athlani L.** Mise au point sur les différentes techniques de réparation du complexe scapholunaire. *Congrès de la société d'imagerie musculo-squelettique (SIMS), Paris, Juin 2022.*

## 4.6. ACTIVITÉS D'INTÉRÊT GÉNÉRAL ET MANAGÉRIALES

### 4.6.1. CHRU de Nancy

Je suis référent recherche du Pôle Lorrain de l'appareil locomoteur du CHRU de Nancy avec les missions de :

- Informer les acteurs de la recherche (internes, chefs de clinique, jeunes praticiens hospitaliers) de la Structure de Soutien à la Recherche (Pôle S<sup>2</sup>R) et de la Direction de la Recherche et de l'Innovation, au sein de l'institution.
- Faire un état des lieux de l'activité de recherche des services qui composent le Pôle Lorrain de l'appareil locomoteur et de coordonner l'activité de recherche au sein du Pôle.

Je suis en contact direct avec la Direction de la Recherche et de l'Innovation du CHRU de Nancy et j'assiste aux réunions du conseil de la DRCI.

Au sein du Laboratoire IADI (INSERM U1254), auquel je suis affilié, je favorise les interactions entre les services cliniques du Pôle Lorrain de l'appareil locomoteur et la Structure de Soutien à la Recherche, favorisant la mise en place des projets de recherche clinique.

Par ailleurs, je participe aux réunions mensuelles du conseil de bloc opératoire du Centre Chirurgical Émile Gallé avec la responsabilité de la mise en place d'une organisation rationnelle du programme opératoire pour l'ensemble du service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur. De même, je participe aux réunions du conseil du Pôle Lorrain de l'appareil locomoteur avec la responsabilité de l'organisation du fonctionnement opérationnel du service de chirurgie de la main et du SOS main (Urgences 24H/24 et 7J/7 – labellisé FESUM), en tenant compte des moyens humains et matériels, de la réglementation relative au temps du travail, à l'exercice professionnel et des règles de sécurité sanitaire.

Depuis décembre 2021, avec le Professeur François DAP, chef de service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur du CHRU de Nancy, je suis co-responsable pédagogique pour la formation des internes de Nancy inscrit en FST « chirurgie de la main ». À cet effet, j'organise l'ensemble des maquettes de stages ainsi que les dossiers de candidature pour les postes de Chef de Clinique-Assistant dans le service.

Je suis également en charge des étudiants en médecine en stage dans le service. Leur planning et leur évaluation finale relève de ma responsabilité. Enfin, je participe activement à la direction du service et en particulier l'unité SOS main dont j'ai la chefferie.

De même, je suis le responsable pour le service auprès du comité de concertation multidisciplinaire régional sur les sarcomes osseux et les tumeurs osseuses rares.

Dans le cadre du projet de déménagement du CHRU de Nancy vers le site Brabois avec l'objectif d'un nouvel hôpital regroupant l'ensemble des activités sur un même site, j'ai la charge, en tant que futur chef de service, de la gestion de l'intégration du service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur. Ce projet est acté par l'état français avec l'obtention d'un financement public.

Pour finir, je suis médecin accrédité par la Haute Autorité de Santé (HAS).

#### 4.6.2. Membres de sociétés savantes

En termes de responsabilités collectives, je suis membre de plusieurs sociétés savantes :

- De la Société Française de Chirurgie de la Main - SFCM.
- De la Société Française Chirurgie Orthopédique et Traumatologique – SOFCOT.
- De la Société Francophone d’Arthroscopie – SFA
- De l’American Society for Surgery of the Hand – ASSH.
- Du Collège Français des Chirurgiens Orthopédistes et Traumatologues - CFCOT
- Du Collège Français des Enseignants en Chirurgie de la Main - CFECM.

Au sein de la SFCM, je suis responsable adjoint multimédia et gère le contenu scientifique du site web.

Au sein du CFECM, je suis membre de la commission d’homologation des futurs « membres formateurs ».

#### 4.6.3. Comité de rédaction revues scientifiques

J’ai effectué de nombreuses relectures d’articles, en tant que « **reviewer** », pour la revue scientifique Hand Surgery & Rehabilitation.

Depuis 2021, j’exerce les fonctions de **rédacteur associé** sur le thème « poignet, carpe », pour cette même revue.



## 5. ACTIVITÉ DE RECHERCHE ET ENCADREMENT

Dans cette session, un résumé de mon activité de recherche sera présenté. Il portera sur l'**instabilité scapholunaire**, le **cal vicieux du radius distal**, la **rhizarthrose** et les **paralysies du plexus brachial**. L'ensemble de mes travaux ont été menés au sein de plusieurs structures : le service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur du CHRU de Nancy, le service d'imagerie Guilloz du CHRU de Nancy, l'École de chirurgie Nancy de l'Université de Lorraine, le département d'anatomie de l'Université de Lorraine, et le Laboratoire IADI (INSERM U1254) au sein duquel je suis chercheur attaché.

Le projet portant sur l'**instabilité scapholunaire** représente un axe majeur de mon activité de recherche, et celui pour lequel ma **thèse d'université** a été conduite.

### 5.1. *CONTRATS DE RECHERCHE ET FINANCEMENTS OBTENUS*

Dans le cadre de mes différents projets, plusieurs contrats de recherche ont été établis :

- Le projet sur l'**instabilité scapholunaire** est soutenu par deux contrats de collaboration avec des sociétés privées. Le premier avec Canon Medical Systems France (Suresnes, France) dont l'investigateur principal est le Professeur Pedro Augusto Gondim Teixeira. Ce partenaire industriel est le fournisseur de la station informatique de traitement des données acquises en 4DCT. Son soutien financier est indirectement apporté par la mise à disposition d'un support matériel et humain pour la réalisation de ce projet de recherche. Le deuxième, renouvelé annuellement, avec Arthrex France (Saint-Didier-au-Mont-d'Or, France), société spécialisée dans la chirurgie du poignet et l'arthroscopie. L'investigateur principal est le Docteur Lionel Athlani. Ce partenaire industriel a apporté son soutien financier pour la totalité des coûts (moyens techniques et expérimentaux, support logistique) des différentes études menées en lien avec ce projet de recherche.
- Le projet sur le **cal vicieux du radius distal** est soutenu par un contrat de collaboration, renouvelé annuellement, avec Newclip Technics (Haute-Goulaine, France), société spécialisée dans la chirurgie assistée par ordinateur en orthopédie et l'impression 3D. L'investigateur principal est le Docteur Lionel Athlani. Ce partenaire industriel a apporté son soutien financier pour la totalité des coûts (moyens techniques et

expérimentaux) des différentes études réalisées. Les licences des logiciels dédiés à cette technologie ainsi qu'un apport intellectuel humain représenté par des ingénieurs en biomécaniques et en modélisation 3D, ont également été mis à disposition. L'ensemble des impressions 3D (plastiques et titanés) utilisées pour l'élaboration de la technique chirurgicale de correction osseuse a fait l'objet d'un financement intégral par la société.

Lors de mon année de mobilité à l'Université de Genève, afin de mener à bien mes recherches fondamentales dans le domaine de la **rhizarthrose**, j'ai obtenu en tant qu'investigateur principal, un financement de **100 000 CHF** auprès de KeriMedical (Genève, Suisse), société spécialisée dans les implants pour la chirurgie de la main et du poignet, et tout particulièrement présent sur le thème de la rhizarthrose. Ainsi, il a été mis à ma disposition durant toute l'année, un support matériel (moyens techniques et expérimentaux, support logistique, environ 50 pièces anatomiques) et humain (équipe des ingénieurs du service « Recherche et Développement »).

De plus, durant cette même année à l'étranger, j'ai participé activement aux projets de recherche « ROBIOM » et ROBOWRIST », en dirigeant les études axées sur **l'instabilité scapholunaire**. Les investigateurs principaux de ces projets sont le Docteur Florent Moissenet et la Professeure Noria Foukia. Deux contrats de recherche ont été établis avec la Haute École du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA) et les Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) – Service de Chirurgie orthopédique et traumatologie de l'appareil moteur. Le premier contrat concernait le projet « ROBOWRIST », de novembre 2019 à avril 2021. Le montant alloué pour cette recherche est de **45 000 CHF**. Ce support financier provenait des HUG. Le deuxième contrat concernait le projet « ROBIOM », de juin 2021 à mai 2022. Le montant alloué pour cette recherche est de **48 000 CHF**. Ce support financier provient de la fondation HASLER ([www.haslerstiftung.ch](http://www.haslerstiftung.ch)). L'HEPIA met à disposition le robot industriel, KUKA® LBR IIWA (Robotics Corporation, Allemagne) et fournit un support intellectuel humain représenté par des enseignants-chercheurs, des ingénieurs en informatique et programmeurs.

## 5.2. L'INSTABILITÉ SCAPHOLUNAIRE

### Encadrements :

#### Thèse d'exercice : Dr. Jonathan Granero

- Corrélation entre évaluations arthroscopique et arthroscannographique dynamique 4D des instabilités scapholunaires du poignet : À propos de 16 cas.
  - Soutenue le 8 novembre 2019
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-41
  -

#### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Guillaume Bollmann

- Intérêt de l'analyse cinématique en imagerie dynamique dans l'évaluation de l'efficacité des ligamentoplasties scapholunaires.
  - Soutenue le 17 mai 2021
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-27

#### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Marie-Cécile Sapa

- Une nouvelle capsulotomie comme abord dorsal du poignet : étude cadavérique.
  - Soutenue le 22 octobre 2020
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-28

#### Stage d'initiation à la recherche : Nicols Reith

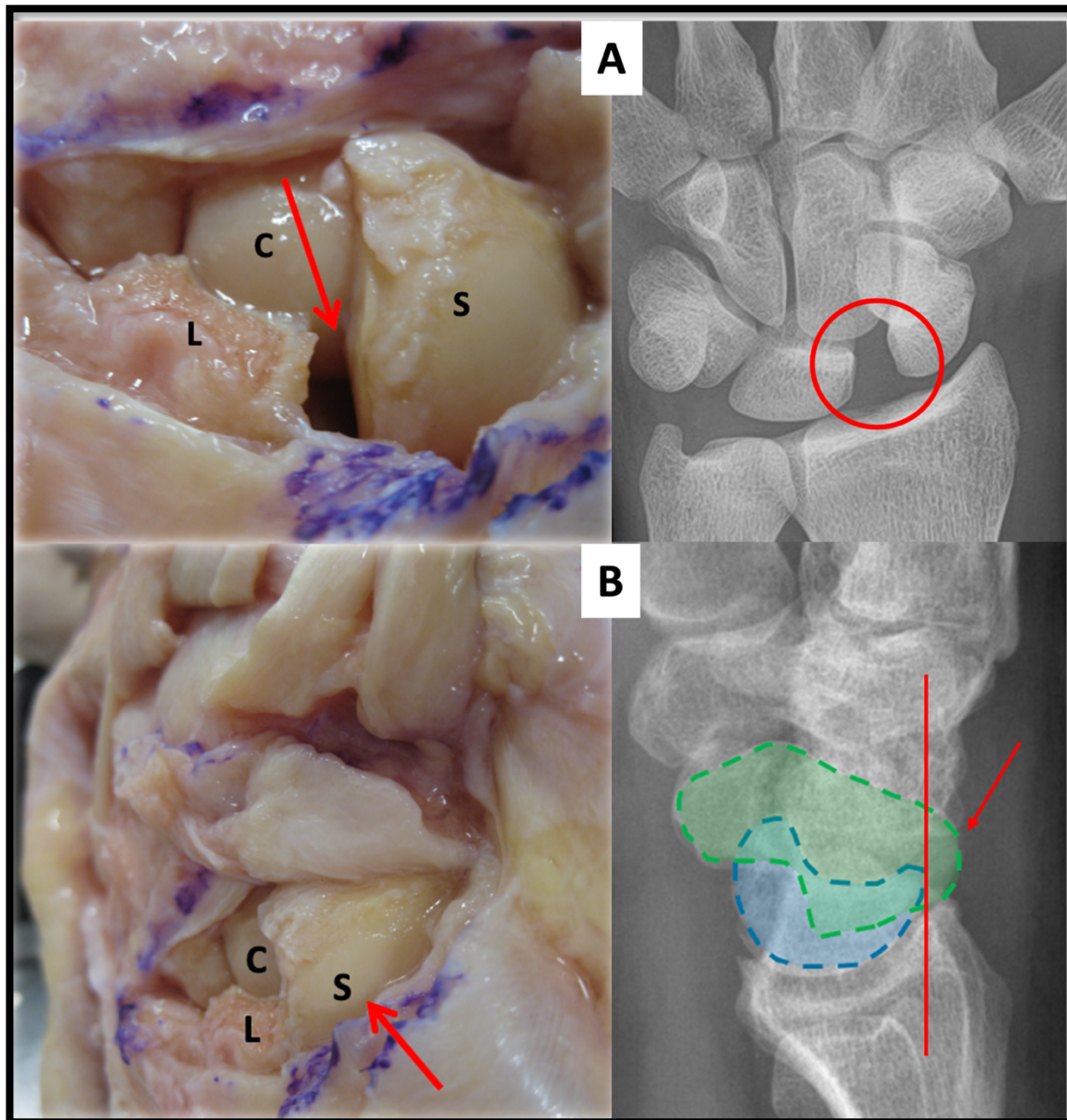
- Évaluation de la mobilité tridimensionnelle des os du carpe à différents niveaux lésionnels ligamentaires.
  - Soutenue le 10 novembre 2021
  - Encadrement à 50 %
  - Publication associée : Article soumis dans *Journal of Biomechanics*.

#### Thèse d'université : Romain Gillet

- Imagerie Haute Résolution et Dynamique en IRM et en Scanner
  - Thèse en cours depuis novembre 2021
  - Encadrement à 50 %

Le ligament interosseux scapholunaire est un ligament intrinsèque essentiel du carpe (Kitay et Wolfe, 2012; Kijima et Viegas, 2009; Kamal et al., 2016). Selon Ward et al., (2015), sa lésion est la plus fréquemment retrouvée dans le spectre lésionnel des pathologies ligamentaires du poignet.

L'instabilité scapholunaire représente la principale instabilité du carpe (Kani et al., 2016). Elle touche le plus souvent des patients jeunes ou d'âge moyen en activité professionnelle (Pliefke et al., 2007). Un traumatisme isolé à haute énergie ou des microtraumatismes répétés, dus à l'activité professionnelle, représentent les principaux facteurs en cause (Murphy et al., 2018). Il est acquis que cette pathologie fait suite à une combinaison de lésions ligamentaires dont celle du ligament scapholunaire, mais également d'autres stabilisateurs tels que les ligaments extrinsèques palmaires et dorsaux du carpe (Viegas et al., 1999; Short et al., 2002; 2005; 2007). L'instabilité scapholunaire se caractérise anatomiquement par un écart scapholunaire pathologique ou diastasis, par une instabilité en extension du lunatum ou Dorsal Intercalated Segment Instability – DISI – et par un déplacement dorsal du scaphoïde ou subluxation postéro-latérale du scaphoïde – SPS – (Laulan et al., 2009). La genèse des différents stades de cette instabilité, et les ligaments progressivement impliqués ne sont actuellement pas établis. Toutefois, Watson et Ballet précisait en 1984, l'évolution naturelle de cette pathologie vers le développement d'une arthrose de poignet dite « SLAC ».

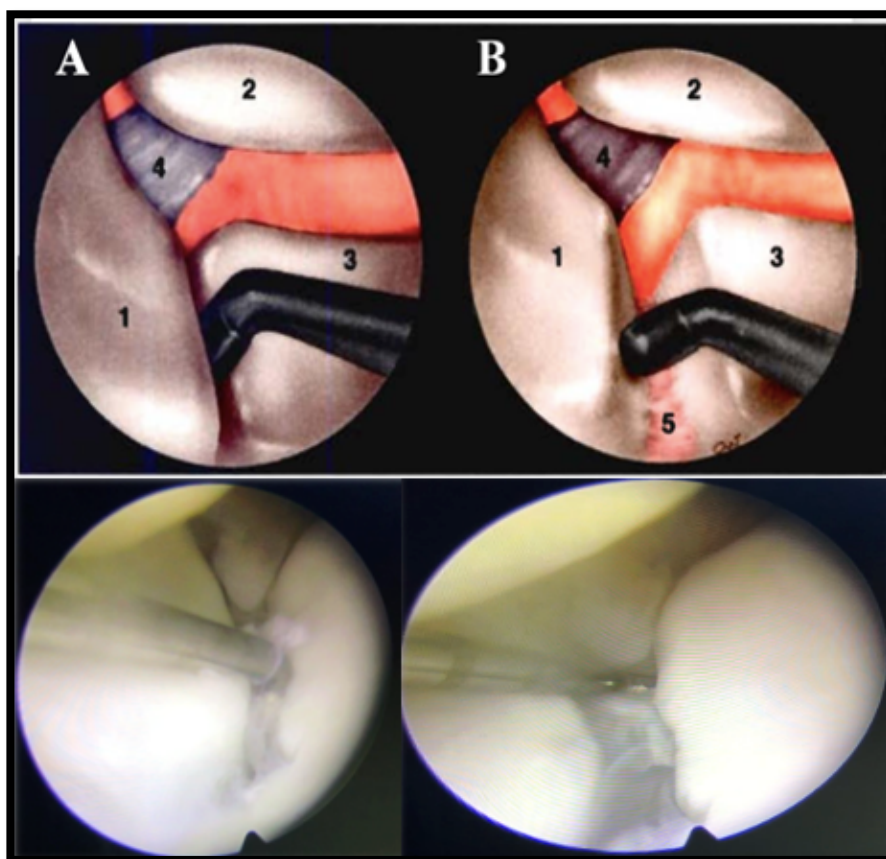


**Figure 1.** Vues anatomiques et radiographiques d'une instabilité scapholunaire statique. On visualise le diastasis scapholunaire (A) et la subluxation postérieure du scaphoïde (B).  
*C : capitatum; S : scaphoïde ; L : lunatum.*

L'instabilité scapholunaire est responsable de douleurs chroniques invalidantes de poignet avec diminution progressive de la force de poigne et des mobilités articulaires entraînant un retentissement sur les activités quotidiennes et professionnelles. Elle constitue donc un réel enjeu socio-économique. Cette pathologie pose des difficultés tant diagnostiques que thérapeutiques (Crawford et al., 2016). Sur le plan diagnostique, aucun signe clinique ne semble pathognomonique et les outils d'imagerie conventionnels (radiographies, arthroscanner, IRM) présentent des insuffisances majeures, notamment lorsque l'instabilité est dynamique, conduisant de multiples auteurs à réaliser une étape chirurgicale intermédiaire,

préthérapeutique, à visée purement diagnostique : l'arthroscopie exploratrice (Dautel et al., 1993; Geissler, 1996; Messina et al., 2013; Löw et al., 2017). Malgré sa performance diagnostique permettant de confirmer l'état d'instabilité même à des stades précoces non visibles en imagerie conventionnelle, l'arthroscopie reste limitée par son manque de reproductibilité (variabilité inter et intra-observateur), par son défaut de quantification et par son caractère invasif non dénué de risque. Ainsi, tant sur le plan de l'imagerie conventionnelle que sur le plan de l'arthroscopie exploratrice, leurs insuffisances respectives font que le diagnostic de l'instabilité scapholunaire reste à ce jour un véritable challenge.





**Figure 2.** Schémas et vues arthroscopiques d'un poignet au niveau de l'articulation médio-carpienne. Le testing de la congruence articulaire scapholunaire est réalisé par le crochet du palpeur.

**A :** Le crochet est introduit dans l'espace entre le scaphoïde (1) et le lunatum (3). La tête du capitatum est visible en haut (2), de même que le ligament radio-scapho-capital (4).

**B :** Sous l'effet du mouvement de torsion appliqué au crochet, un diastasis se démasque entre le scaphoïde (1) et le lunatum (3). L'articulation scapholunaire s'ouvre et les reliquats ligamentaires (5) deviennent visibles au niveau de l'articulation radio-carpienne.

Quel que soit son stade, la stratégie chirurgicale au stade préarthrosique reste à ce jour mal codifiée, avec de multiples techniques de ligamentoplasties. Leur objectif commun est de reconstruire les stabilisateurs ligamentaires lésés afin de réduire la dissociation et ainsi prévenir le risque à long terme du collapsus arthrosique (Crawford et al., 2016). Ces diverses procédures chirurgicales ont servi de base à plusieurs études cliniques (Athlani et al., 2018-3). Dans le cadre d'une revue systématique, nous avons constaté que l'ensemble de ces dernières partagent de bons résultats cliniques similaires, mais que l'aspect radiographique reste très variable. En effet, la récurrence à court et moyen terme des anomalies radiologiques est fréquemment observée. De plus, seule une évaluation radiographique est réalisée pour confirmer l'efficacité de leurs techniques respectives en matière de correction de l'alignement intracarpien.

Cette évaluation purement statique, rend limitée l'interprétation des résultats en ce qui concerne la restitution de la synergie du couple scapholunaire et une cohérence spatiale des os du carpe.

Dans cette thématique les protocoles de recherche suivants sont en cours :

- Le protocole de recherche clinique « EDLIS » (Évaluation Dynamique du Ligament Interosseux Scapholunaire). L'inclusion des patients a commencé en janvier 2015. Son objectif est d'évaluer la performance diagnostique et d'établir les critères diagnostiques pour le scanner dynamique dans l'instabilité dissociative du poignet chez des patients avec une rupture du ligament interosseux scapholunaire. Un nouveau logiciel d'analyse quantitative des données dynamiques est utilisé.
- Le protocole de recherche clinique « SLIC » (ScaphoLunate and InterCarpal ligamentoplasty). L'inclusion des patients a commencé en janvier 2013. Son objectif est d'évaluer les résultats cliniques et biomécaniques de la ligamentoplastie scapholunaire et intercarpienne dans le traitement de l'instabilité dissociative scapholunaire chronique avant le stade d'arthrose.
- Les protocoles de recherche biomécanique « ROBIOM » et « ROBOTWRIST ». Ces projets ont débuté en novembre 2020. L'objectif est d'évaluer la mobilité des os du poignet et du membre supérieur au cours de différents mouvements fonctionnels, à différents niveaux lésionnels ligamentaires.

Nous collaborons avec plusieurs institutions :

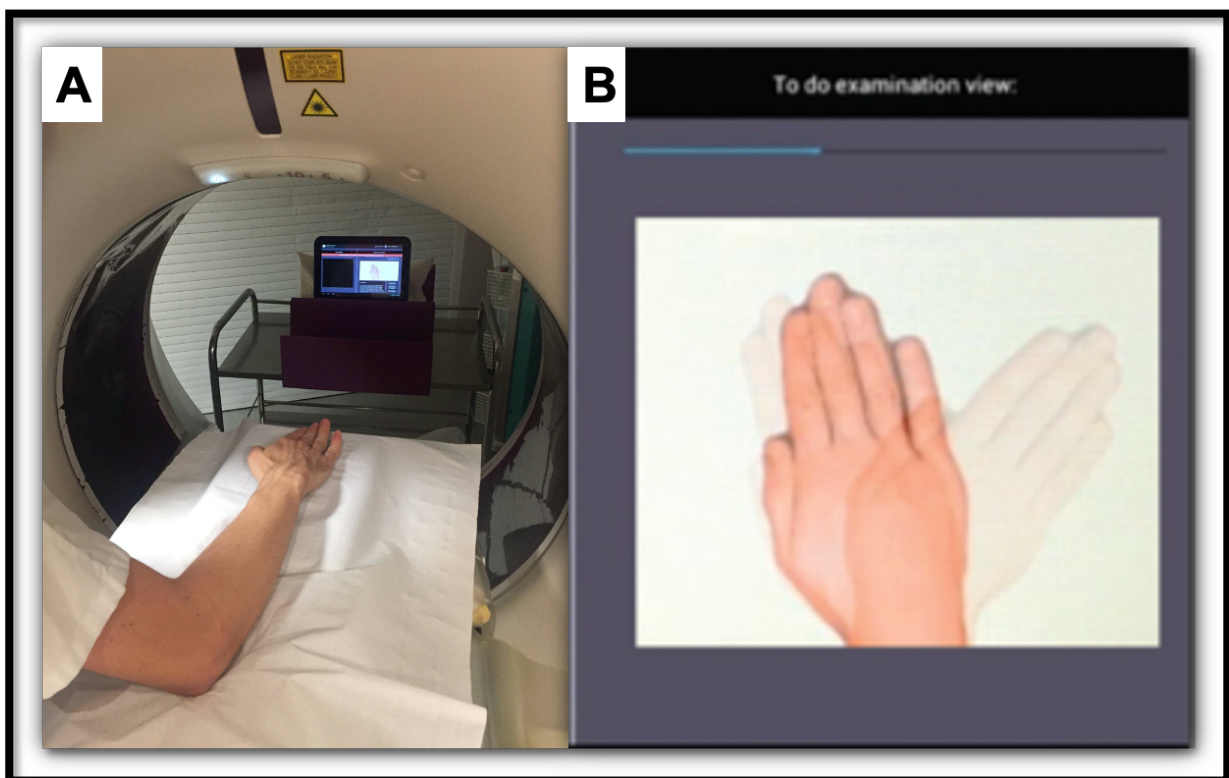
- Les Professeurs Alain Blum et Pedro Augusto Gondim Teixeira, Service d'imagerie Guilloz, CHRU de Nancy.
- Le Docteur Nicolas Pauchard, Service de chirurgie de la main – SOS main Dijon Bourgogne, Hôpital Privé Dijon Bourgogne.
- Le Professeur Jean-Yves Beaulieu, Unité de chirurgie de la main et des nerfs périphériques, Département de chirurgie orthopédique et traumatologie de l'appareil locomoteur, Hôpitaux Universitaires de Genève, Suisse.
- Le Docteur Sana Boudabbous, Unité de radiologie ostéo-articulaire, Service de radiologie, Hôpitaux Universitaires de Genève, Suisse.
- Monsieur Florent Moissenet, Docteur en biomécanique, Laboratoires de biomécanique (B-LAB) et d'anatomie, Université de Genève, Suisse.



### 5.2.1. Analyse cinématique en 4DCT

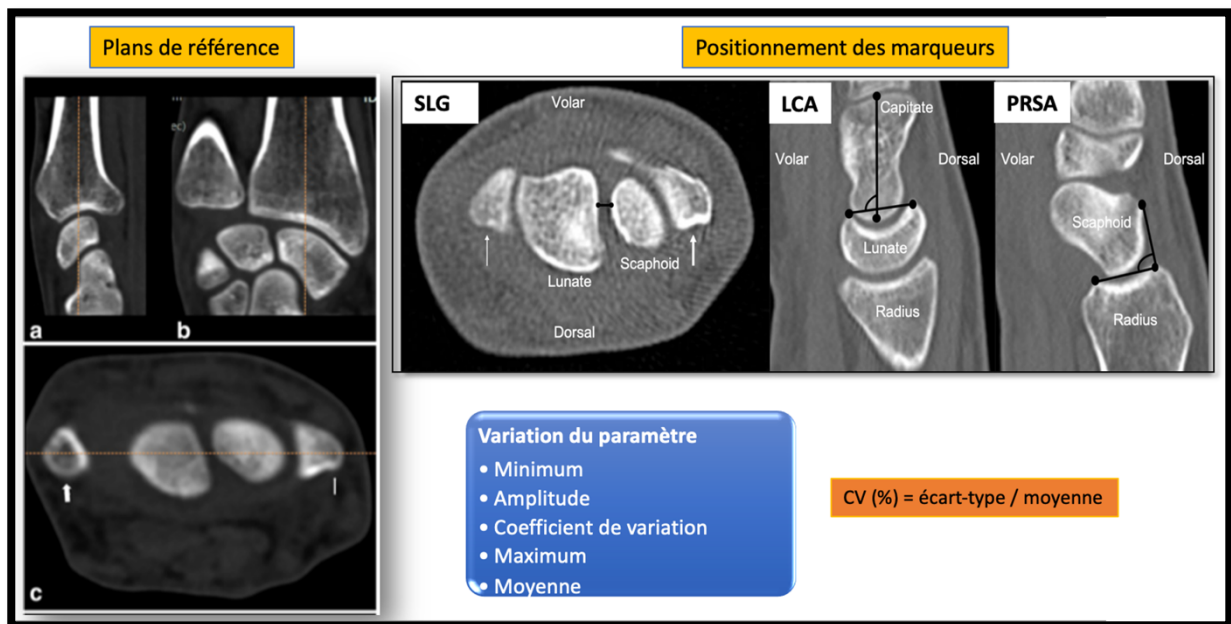
Le 4DCT fait l'objet de nombreux travaux récents (Abou Arab et al., 2018 ; De Roo et al., 2019 ; Garcia-Elias et al., 2014 ; Gondim-Teixeira et al., 2017 ; Kakar et al., 2016 ; Leng et al., 2011 ; Mat Jais et al., 2017 ; Rauch et al., 2018 ; Zhao et al., 2015). Il s'agit d'un examen d'imagerie permettant une analyse dynamique d'une région anatomique donnée, lors d'un mouvement articulaire défini. Cette évaluation cinématique en tomodensitométrie permet l'analyse directe des changements de position d'un os dans les trois plans de l'espace pendant le mouvement.

Récemment, Abou Arab et al., (2018), Rauch et al., (2018) et Gondim-Teixeira et al., (2021), ont décrit le protocole permettant l'utilisation du 4DCT pour l'analyse du carpe lors du mouvement de déviation radio-ulnaire. Leurs premiers résultats étaient très encourageants en termes de précision diagnostic d'une rupture totale du ligament scapholunaire.

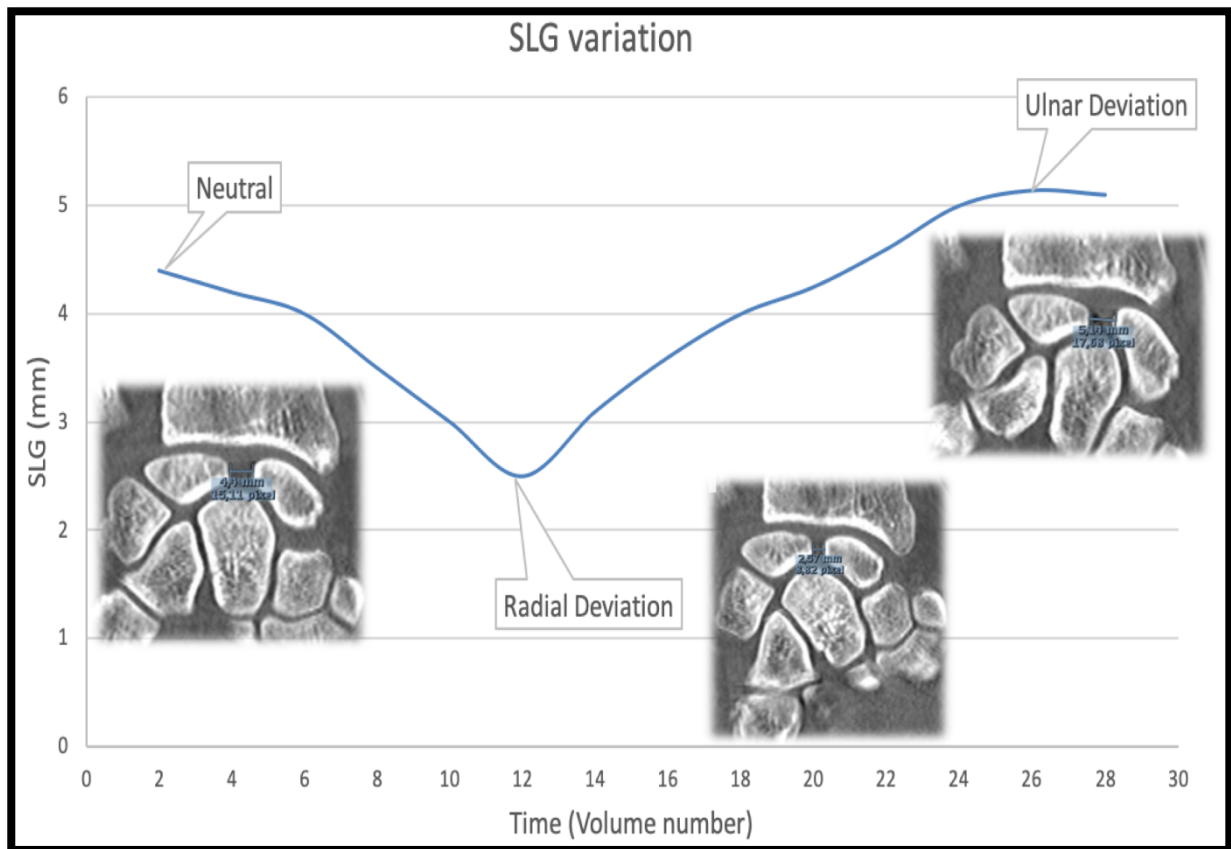


*Figure 3. Photographies illustrant la procédure d'acquisitions en 4DCT. (A) - Le patient, protégé est assis à côté du scanner, son poignet est en position neutre, placé sur la table d'examen. (B) - La capture d'écran d'une tablette montre l'amplitude et la vitesse de déplacement en déviation radio-ulnaire du poignet (Abou Arab et al., 2018 ; Rauch et al., 2018).*

Dans la première partie de mon travail de thèse de science, nous avons évoqué l'hypothèse que le 4DCT pourrait être un complément d'imagerie performant pour l'analyse des patients suspects d'instabilité scapholunaire, quel qu'en soit son stade, et notamment en cas de doute persistant après réalisation du bilan d'imagerie conventionnel. Les résultats de nos différentes études cliniques (Athlani et al., 2020-1 ; 2021-1 ; 2021-2) ont confirmé l'intérêt du 4DCT dans le bilan diagnostic et pronostic de cette pathologie. Par son analyse dynamique, quantitative multiparamétrique et reproductible, le 4DCT s'est avéré pertinent pour confirmer de façon significative l'état d'instabilité, y compris chez les patients présentant une évaluation radiographique et/ou arthroscopographique initiale douteuse. L'un des avantages du 4DCT est de pouvoir s'affranchir des phénomènes de superposition et des erreurs de mesure liées à la position du poignet lors des radiographies standards. Certains paramètres du 4DCT se sont révélés être à prédominance diagnostique, tandis que d'autres sont apparus comme des paramètres à prédominance pronostique.



*Figure 4. Plans de référence sélectionnés sur une image multiplanaire d'un des volumes d'acquisition. Dans ces plans, on positionne des marqueurs pour effectuer les mesures d'espace interosseux et d'angles. Le logiciel suit ensuite automatiquement les marqueurs sélectionnés dans tous les volumes acquis restants, permettant le calcul pour chaque paramètre (espace ou angle) de sa variation au cours du mouvement de poignet. SLG : espace scapholunaire ; LCA : angle lune-capital ; PRSA : angle radio-scaphoïdien postérieur.*

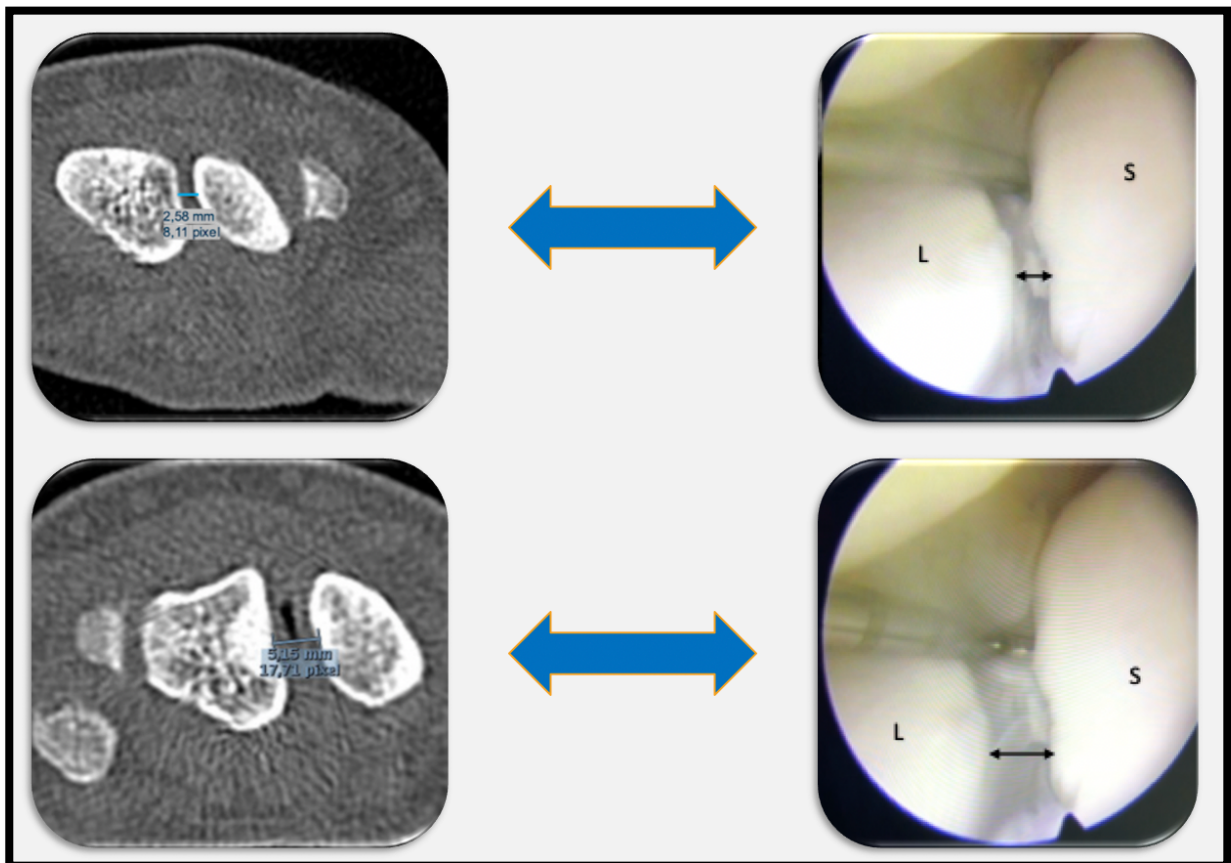


*Figure 5. Exemple d'une instabilité scapholunaire avec la variation considérable de l'espace scapholunaire (SLG) lors du mouvement de déviation radio-ulnaire. En inclinaison radiale, l'espace a tendance à diminuer alors qu'il est maximal en inclinaison ulnaire. Les valeurs moyennes sont globalement augmentées.*

La mise en place d'un nouvel outil d'imagerie nécessite la formation du personnel soignant, mais également une éducation préalable du patient à l'exécution correcte des manœuvres du poignet. Ceci peut limiter la disponibilité du 4DCT faisant considérer par de nombreuses équipes chirurgicales, l'arthroscopie exploratrice de poignet comme « gold standard » pour confirmer le diagnostic d'instabilité scapholunaire.

De ce fait, il paraissait essentiel d'étudier la corrélation entre l'analyse arthroscopique de l'articulation scapholunaire et l'analyse cinématique en 4DCT. Dans le cadre de la thèse d'exercice du Docteur Jonathan Granero, j'ai supervisé la réalisation d'une étude qui incluait 33 patients. Il fallait dans un premier temps grouper les patients en fonction du stade d'instabilité scapholunaire. Partant du principe que l'arthroscopie représente l'outil de référence pour le diagnostic de l'instabilité, il était approprié d'utiliser une classification arthroscopique pour évaluer le stade de la pathologie. Basé sur la classification de Dréant et Dautel (2003), nous avons pu séparer les patients en deux groupes de sévérité croissante.

La comparaison des résultats de l'analyse 4DCT entre ces deux groupes a confirmé la correspondance entre le testing dynamique arthroscopique et l'analyse quantitative multiparamétrique en 4DCT. Contrairement à l'arthroscopie, le 4DCT a ajouté un rôle pronostique par la possibilité de quantifier la distance entre le scaphoïde et le lunatum, mais également des anomalies de position de ces deux os.



**Figure 6.** Exemple d'un patient présentant une instabilité scapholunaire du poignet droit illustrant la corrélation entre l'analyse 4DCT et testing dynamique de l'articulation scapholunaire sous arthroscopie. En inclinaison ulnaire, l'espace scapholunaire augmente correspondant à l'ouverture possible de l'articulation par le crochet du palpeur en arthroscopie. S : scaphoïde ; L : lunatum.

De plus, les principaux inconvénients de l'arthroscopie sont la complexité technique et le caractère invasif de la procédure, avec des complications potentielles non négligeables (Leclerc et Mathoulin, 2016). Contrairement au 4DCT, l'arthroscopie présente une étroite relation entre l'expérience individuelle du chirurgien et sa reproductibilité dans l'analyse (Obdeijn et al., 2013). Tout ceci conforte l'intérêt du 4DCT dans le bilan préthérapeutique des patients porteurs d'une instabilité scapholunaire. Les avantages potentiels du 4DCT par rapport aux scores arthroscopiques pourraient positionner cet outil d'imagerie dynamique comme réelle alternative.

### 5.2.2. Approche biomécanique et robotique

Durant mon année en tant que « research fellow » à l'Université de Genève, nous avons encadré avec Florent Moissenet (Laboratoire de biomécanique (B-LAB), Hôpitaux Universitaires de Genève), au sein du département d'anatomie de l'Université de Genève, le SIR de Monsieur Nicols Reith. L'objectif de ce travail était d'enregistrer la mobilité 3D des os du carpe au cours des mouvements de flexion-extension, déviation radio-ulnaire et pronosupination, à différents niveaux lésionnels ligamentaires. La mobilisation des pièces a été permise par l'utilisation du robot industriel, sensitif et collaboratif KUKA® LBR IIWA (Robotics Corporation, Allemagne). Durant la réalisation de ce protocole expérimental, nous avons été confrontés à différents problèmes.

Premièrement, il a fallu concevoir un software sur mesure permettant de définir pour chacun des trois mouvements souhaités, sa trajectoire dans les trois plans de l'espace et l'évolution de sa vitesse. Les mouvements prédéfinis selon les axes XYZ étaient ensuite convertis dans le langage informatique approprié afin que le robot puisse reproduire le mouvement.

Deuxièmement, la préparation des spécimens devait être réalisée moins de 24 heures avant chaque manipulation afin de prévenir du risque d'assèchement des structures ligamentaires au contact de l'oxygène. En effet, chaque pièce faisait l'objet d'une résection de l'ensemble des parties molles, pour ne conserver que les structures osseuses et ligamentaires intrinsèques et extrinsèques. Ensuite, aidée d'une équerre d'assemblage en vente dans une enseigne de grande distribution de fournitures de bricolage, une fixation à 90° du coude (position de référence anatomique) de chaque membre cadavérique a été réalisée. Au niveau de chaque os du carpe, il a fallu positionner une broche de faible calibre qui servait de station d'accueil à un marqueur réfléchissant.

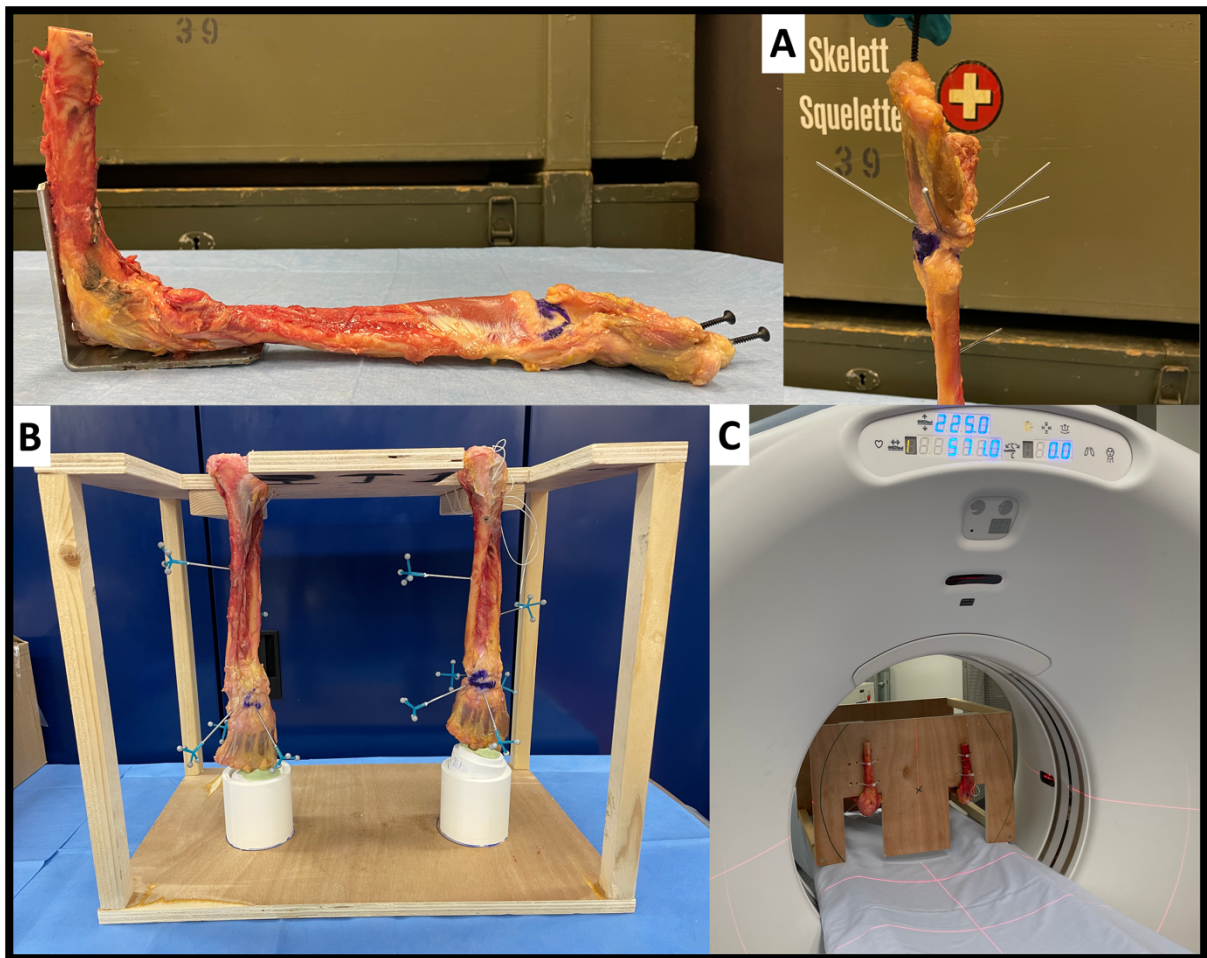
Nous avons été confrontés au fait que le poids de la broche ne devait pas excéder 2 grammes afin de ne pas provoquer d'artefact dans le déplacement physiologique de l'os lors des mouvements induits par le robot. De même, la proximité millimétrique des os du carpe entre eux nécessitait de positionner chaque broche dédiée selon une orientation différente afin de ne pas provoquer la collision entre deux marqueurs réfléchissants lors des mouvements. Après plusieurs tentatives, nous avons pu définir un positionnement précis, reproductible et sans risque, pour chacune des broches des différents os étudiés. Une dernière problématique dans la préparation des pièces anatomiques a dû être résolue ; comment solidariser l'extrémité distale du membre au bras du robot. Aidé de l'impression 3D, nous avons confectionné une embase spécifique qui venait s'emboîter dans le bras du robot puis était fixée à la main du membre grâce à un double vissage cimenté prenant appui dans les deuxième et troisième métacarpes.

Troisièmement, le membre supérieur solidarisé au bras du robot devait être installé au niveau de son autre extrémité sur un support plan et stable. Pour cela, nous avons trouvé comme solution, l'utilisation d'un étau fixé sur une table métallique et recevant l'humérus du membre. Un enregistrement statique du positionnement dans l'espace de l'ensemble robot / membre devait être réalisé à l'aide d'un système de capture du mouvement (caméras MIQUS-M5, Qualisys, Suède). À ce stade, nous avons rencontré de multiples erreurs de calibrage du positionnement. Après plusieurs tests, nous avons trouvé diverses causes : l'orientation de l'embase qui devait être alignée par rapport au bras du robot, la neutralité de prono-supination de l'avant-bras de la pièce anatomique, la localisation à l'aide d'un pointeur optique de repères osseux fiables afin de définir les axes autour desquels la pièce devait être mobilisée.

Quatrièmement, la réalisation des trois mouvements définis devait avoir lieu successivement. Pour ne pas risquer d'induire des amplitudes de mouvement extrêmes, à risque de fracture osseuse, nous avons dû passer par une phase d'évaluation des amplitudes articulaires admissibles en condition cadavérique, pour les trois mouvements. Une fois ces valeurs définies, des erreurs d'initiation de la séquence automatique de mouvements par le robot sont apparues. En utilisant un simulateur, quatre causes ont été identifiées : l'inclusion complète des différentes positions du membre au cours de la manipulation cinématique dans le volume de travail du robot, le réglage à mi-course de l'axe principal du robot afin d'éviter d'atteindre ses butées lors de la manipulation, l'absence de traction ou compression intracarpienne afin d'éviter des contraintes non physiologiques.

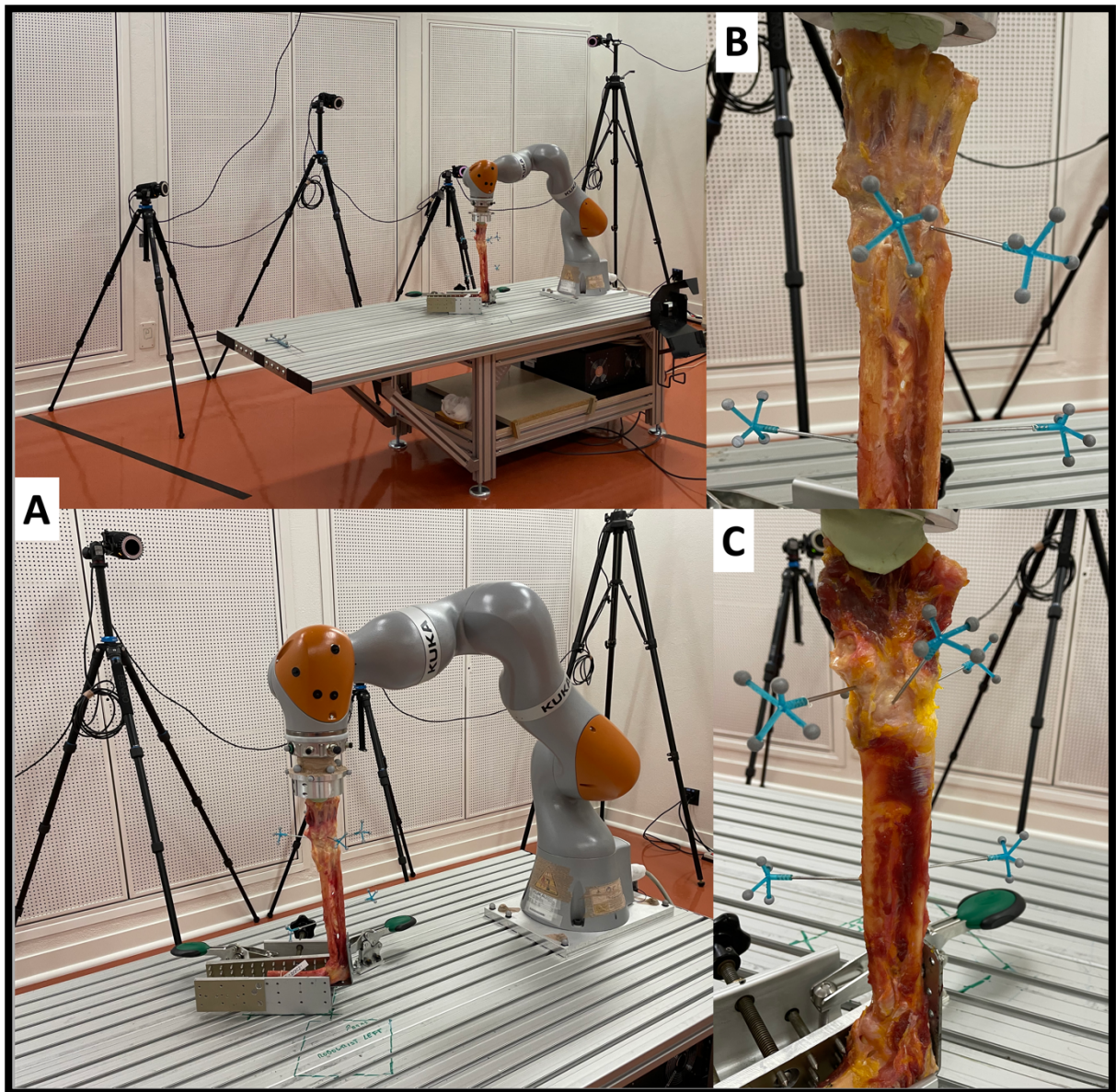


Cinquièmement, un scanner de chaque pièce devait être réalisé en amont des manipulations afin de pouvoir par la suite fusionner les données d'imagerie avec celles de la capture du mouvement des marqueurs réfléchissants, dans le but de définir les systèmes d'axes anatomiques de chaque segment osseux instrumenté. Cela permet de calculer par la suite la cinématique des os lors des différents mouvements. Durant cet examen d'imagerie et à l'issue de celui-ci, les différents marqueurs installés au niveau des différentes broches ne devaient subir aucun déplacement jusqu'à la fin de l'expérimentation. Nous avons donc été contraints de fabriquer une station spécifique en bois, afin d'installer le membre à scanner sur la table d'examen tout en restant à distance du champ d'irradiation.



**Figure 7.** Photographies illustrant la préparation des pièces anatomiques (A), l'installation sur la station en bois conçue sur mesure (B), puis l'acquisition scanographique des membres (C).



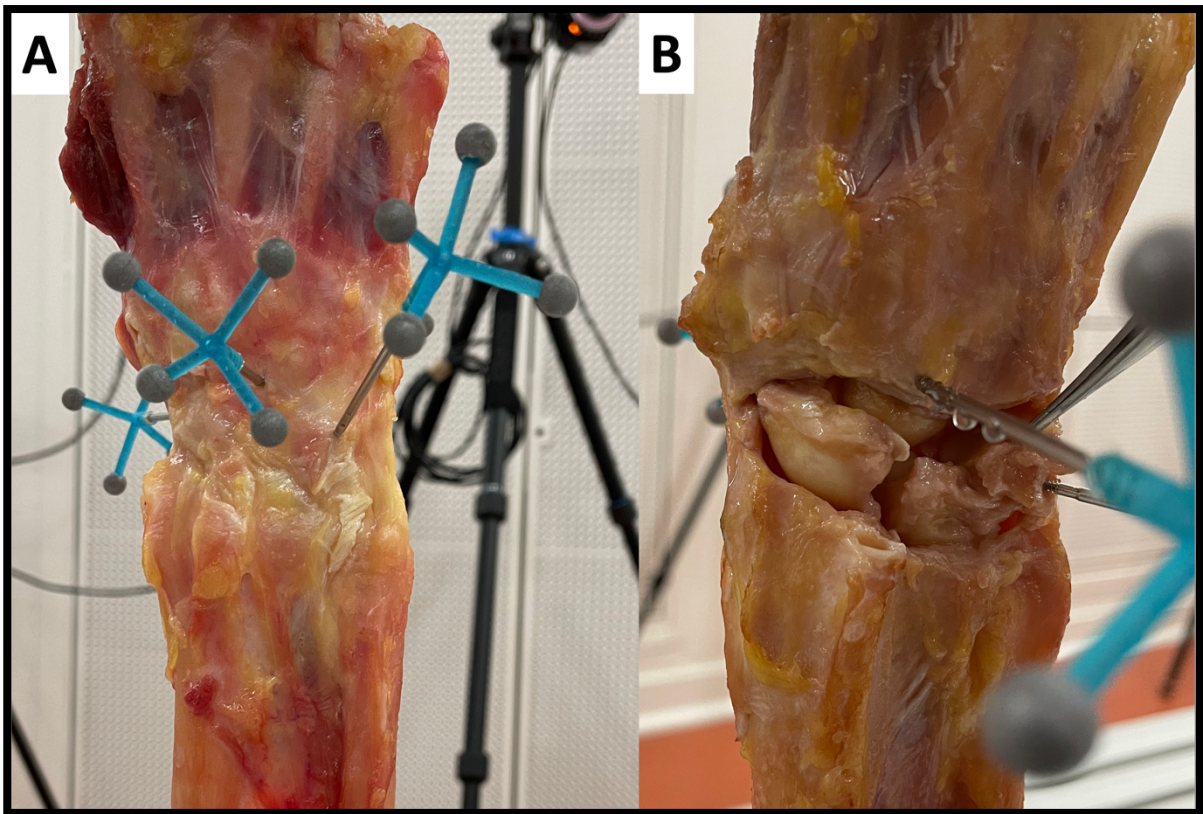


*Figure 8. Photographies illustrant le montage expérimental (A). Vues dorsale (B) et palmaire (C) centrées sur le poignet avec le positionnement des différents marqueurs réfléchissants.*

Six spécimens cadavériques ont pu être inclus dans ce travail. Nous avons réussi à enregistrer les trajectoires 3D des marqueurs réfléchissants installées sur les broches fixées dans les os du poignet, au cours des mouvements de flexion-extension, de déviation radio-ulnaire et de pronosupination. Pour chacune des pièces, quatre cycles de mouvements ont été réalisés dans quatre conditions lésionnelles obtenues chirurgicalement, et simulant les différents stades dans la genèse de l'instabilité scapholunaire : avant toute section ligamentaire, après section des ligaments extrinsèques dorsaux, après section complémentaire du ligament scapholunaire et enfin après section complémentaire des ligaments intrinsèques palmaires. La fusion des données imagerie – capture du mouvement s'est déroulée sans difficulté.



Un processus de segmentation est en cours afin d'obtenir des modèles 3D virtuels des os du carpe, puis d'évaluer leurs déplacements au cours des trois mouvements. L'altération des amplitudes et la modification d'axes de la mobilité de chacun des os après les sections ligamentaires successives, fourniront des données essentielles à la compréhension de la physiopathologie de l'instabilité scapholunaire. La comparaison des trois mouvements fonctionnels simulés pourrait permettre de préciser ceux pour lesquels le diagnostic d'instabilité scapholunaire est le plus évident.



*Figure 9. Vues dorsales centrées sur le poignet avant (A) et après (B) section des ligaments stabilisateurs du couple scapholunaire. On visualise l'ensemble des caractéristiques anatomiques d'une instabilité scapholunaire.*

### 5.2.3. La ligamentoplastie ScaphoLunaire et InterCarpienne

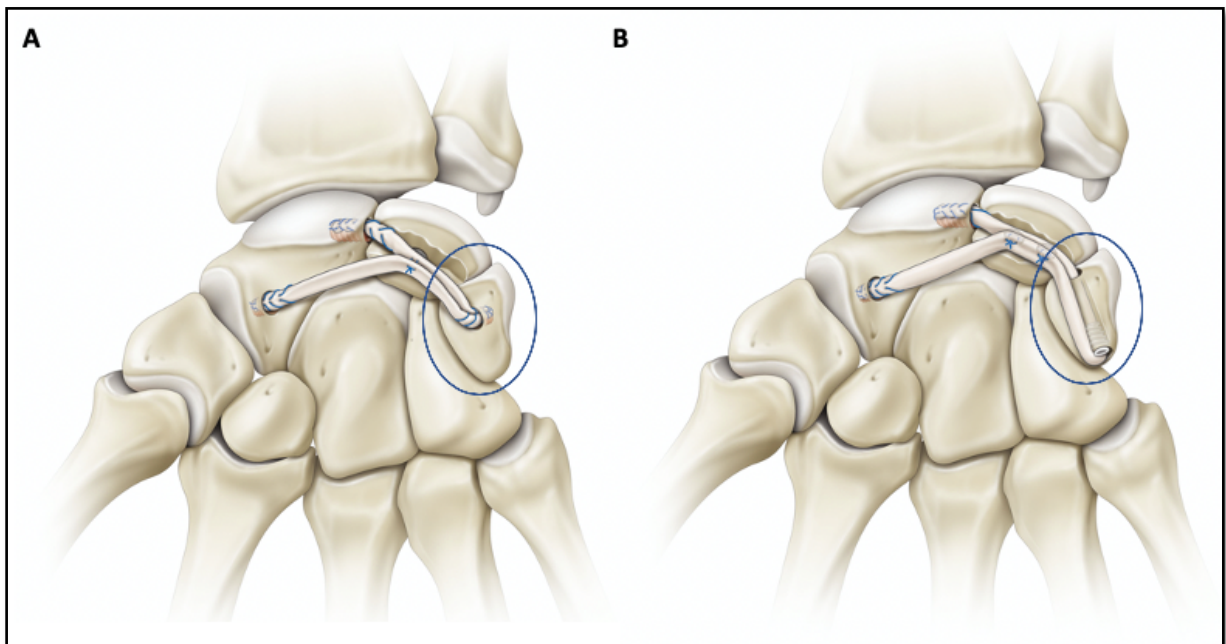
Le concept initial de la ligamentoplastie « SLIC » a été développé par le Professeur Gilles Dautel et le Docteur Nicolas Pauchard du *service de chirurgie de la main, chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur* du Centre Chirurgical Émile Gallé (CHRU de Nancy). Elle utilise un transplant libre de Palmaris Longus pour reconstruire le ligament interosseux scapholunaire et le ligament intercarpien dorsal, permettant ainsi de restaurer la congruence scapholunaire.

Son objectif premier est d'éviter la réalisation d'un tunnel transosseux scaphoïdien, retrouvé dans les ligamentoplasties utilisant le Flexor Carpi Radialis, et source de complications iatrogènes à de type nécrose vasculaire du pôle proximal du scaphoïde (Pauchard et al., 2013). De plus, l'utilisation d'un Palmaris Longus respecte le Flexor Carpi Radialis, considéré comme stabilisateur du complexe scapholunaire (Esplugas et al., 2016 ; Short et al., 2007). Cela rend également possible la précontrainte tendineuse en prévention de la détente ligamentaire.

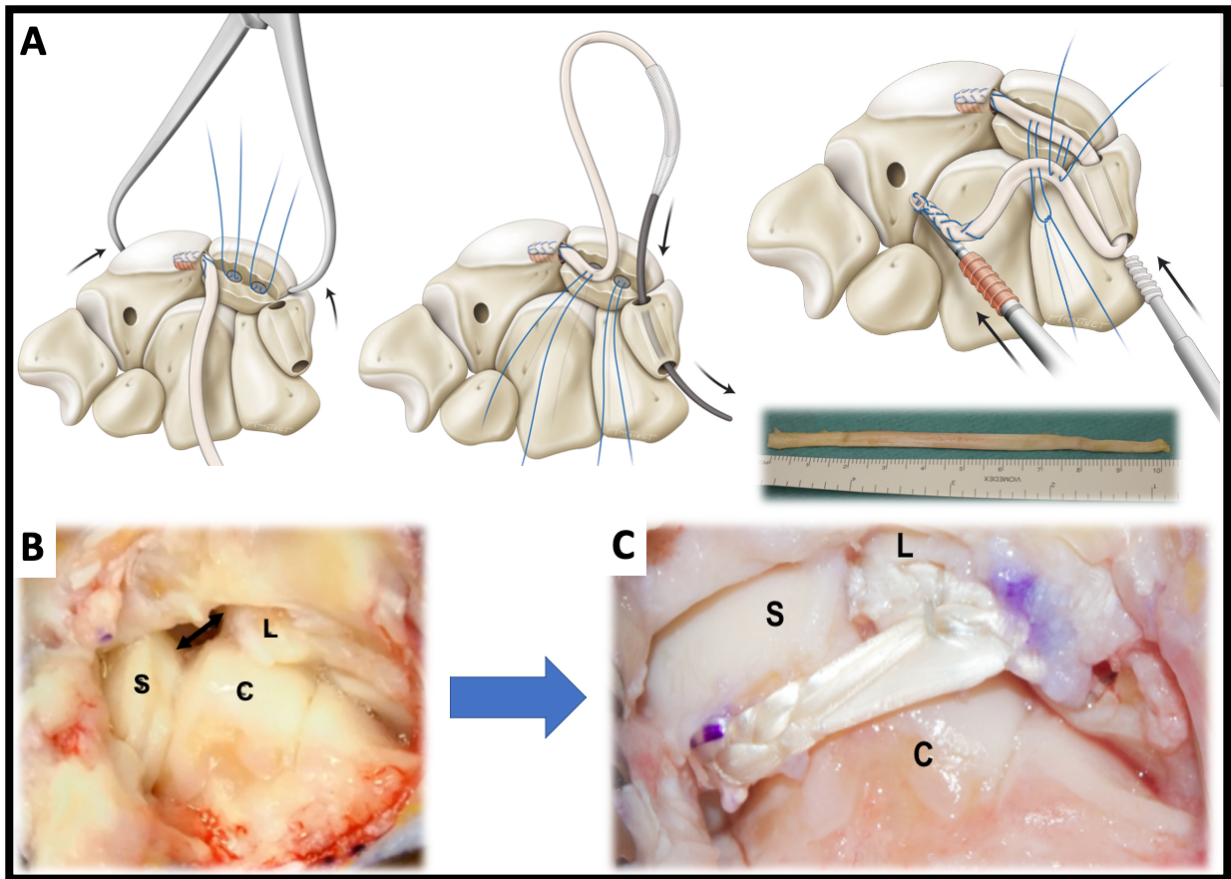
Son objectif second est de répondre aux conceptions biomécaniques actuelles, soulignant le rôle important stabilisateur du ligament intercarpien dorsal (Mitsuyasu et al., 2004).

Dans le cadre de ma thèse de science, nous avons pu réaliser différentes études anatomiques et cliniques (Athlani et al., 2018-1 ; 2018-2 ; 2019 ; 2020-2) évaluant cette technique chirurgicale. De bons résultats cliniques et radiologiques, avec un suivi à court et moyen terme, ont été retrouvés. La ligamentoplastie « SLIC » a permis de corriger les différentes composantes de la dissociation scapholunaire faisant présager d'une restitution d'une biomécanique physiologique du carpe. De même, nous avons évité la morbidité au niveau du scaphoïde et nous ne déplorons, à ce jour, aucun cas d'évolution vers l'arthrose. Cependant, entre la période postopératoire immédiate et le dernier recul, il y a eu une augmentation significative des paramètres radiographiques analysés. Cette perte partielle de réduction de la dissociation concernait le sous-ensemble de poignets présentant une instabilité de stade statique (Athlani et al., 2018-3).

Nous avons donc décidé de modifier la procédure originale, car nous estimions que l'étape intermédiaire, au niveau de l'os triquétrum, contribuait à la fragilité du greffon, et il était de plus, difficile de générer une tension maximale dans la ligamentoplastie. La comparaison des résultats des deux versions, au même recul, a montré que nous contrôlons mieux la gestion de la tension de la ligamentoplastie dans sa version modifiée, conservant ainsi la correction intracarpienne obtenue en peropératoire, notamment dans ces cas d'instabilité statique où les contraintes mécaniques sont importantes.



**Figure 10.** Schémas montrant la version originale (A) et la version modifiée (B) de la ligamentoplastie « SLIC ».



**Figure 11.** Schémas illustrant les différentes étapes de la ligamentoplastie « SLIC » dans sa version modifiée (A). Exemple d'une instabilité scapholunaire (B) traitée par cette technique chirurgicale (C). On note l'utilisation d'un transplant libre de Palmaris Longus mesurant 10 cm de longueur. S : scaphoïde ; L : lunatum ; C : capitatum.

Néanmoins, dans ces études cliniques, nous avons uniquement réalisé une analyse radiographique ne permettant pas d'apprécier réellement la restauration d'une cinématique physiologique du couple scapholunaire après réalisation d'une ligamentoplastie « SLIC ».

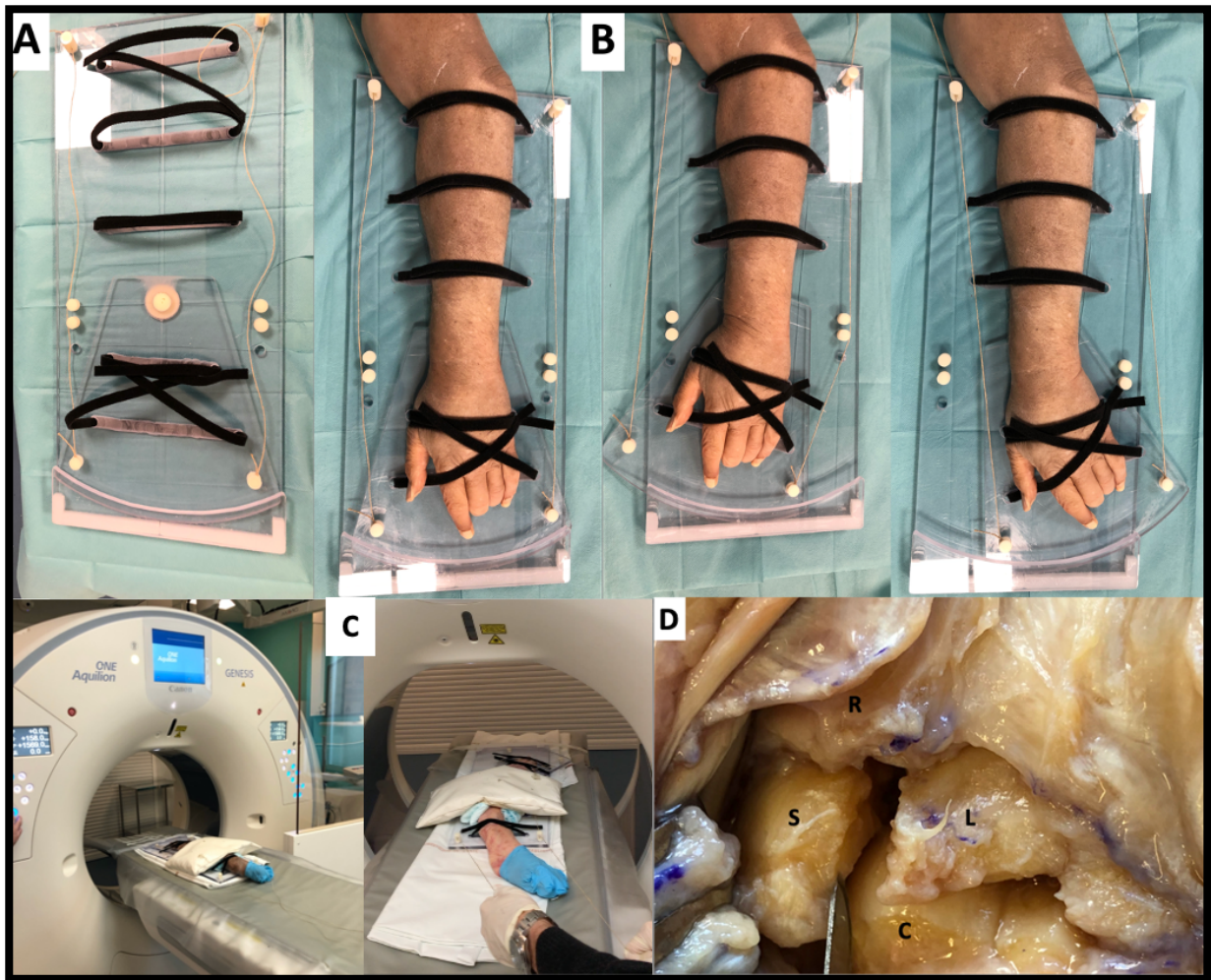




**Figure 12.** Radiographies de face (A) et de profil strict (B) d'un poignet droit avec des signes d'instabilité scapholunaire (flèches). Radiographies de face (C) et de profil strict (D) à 3 ans de recul d'une ligamentoplastie « SLIC ». L'efficacité de la chirurgie est évaluée par la correction des signes présents en préopératoires. Toutefois, la restauration de la synergie du couple scapholunaire lors du mouvement de poignet n'est pas évaluable avec de simples radiographies standards.

Dans le cadre du SIR du Docteur Guillaume Bollman, lors d'un travail bicentrique sur cadavres, réalisé en collaboration avec le Professeur Pedro Augusto Gondim Teixeira (Service d'imagerie Guilloz, CHRU de Nancy) et le Docteur Sana Boudabbous (Unité de radiologie ostéo-articulaire, service de radiologie, Hôpitaux Universitaires de Genève), nous souhaitons étudier l'efficacité de la ligamentoplastie « SLIC » en utilisant le 4DCT. Dans un premier temps, six spécimens provenant du laboratoire d'anatomie de Nancy (Faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine) ont fait l'objet d'acquisitions scanographiques cinématiques grâce au scanner Aquilion ONE (Canon Medical Systems, Otawara, Japan) du service d'imagerie Nancéen. Puis, six autres spécimens provenant du département d'anatomie de Genève (Faculté de médecine de l'Université de Genève), ont été analysés selon le même protocole d'étude, en utilisant le scanner SOMATOM Force (Siemens Healthineers, Erlangen, Allemagne) du service d'imagerie Genevois. L'analyse des images et le traitement des données ont été réalisés sur station de travail indépendante, à l'aide de l'application 4D Ortho (Vitrea, version 7.0; Canon Medical Systems).

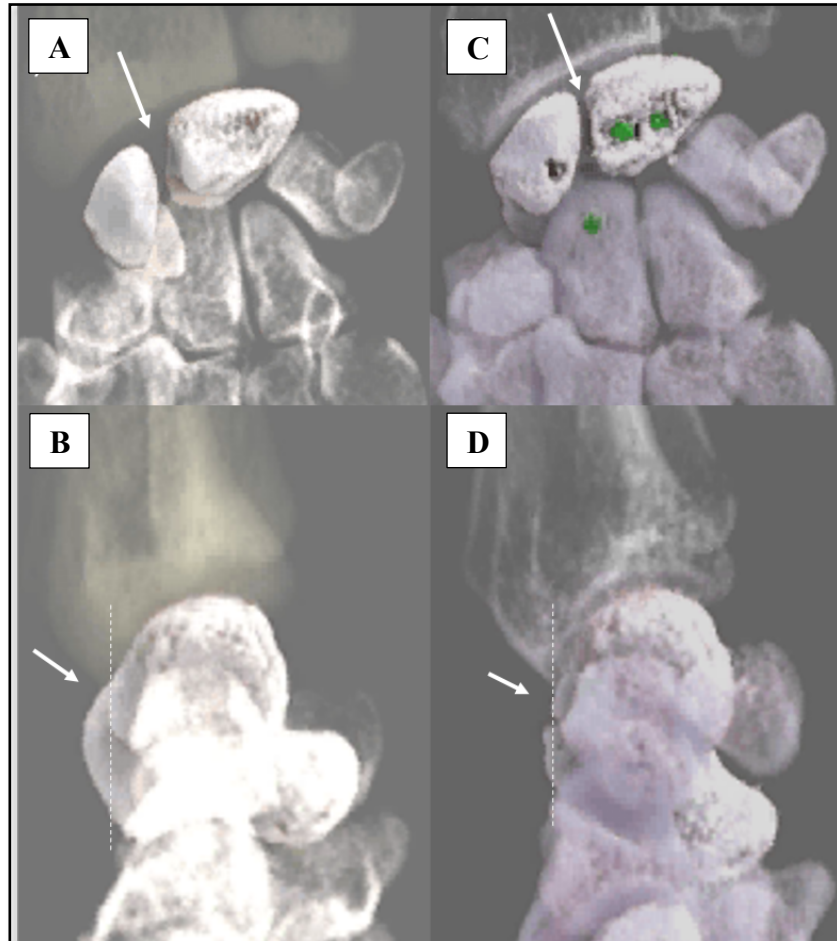
Afin d'induire un mouvement de déviation radio-ulnaire du poignet cadavérique, il était nécessaire de passer par une première étape de conception d'un dispositif dédié, permettant d'accueillir les différents membres supérieurs et de faire mobiliser leurs poignets en inclinaison radio-ulnaire sans autre mouvement parasite de l'avant-bras ou de la main. Ainsi, avec l'aide de Nicolas Weber, ingénieur d'études au laboratoire IADI, nous avons conçu un dispositif inédit avec une partie en verre acrylique (PLEXIGLAS®, Röhm GmbH, Weiterstadt, Allemagne) usinée à la main, et une partie en ABS (Acrylonitrile butadiène styrène) pour les pièces imprimées en 3D à l'aide d'une imprimante STREAM 30 Pro MK2 (Volumic, Nice, France). La partie en verre acrylique comporte un socle fixe servant de base reposant sur la table d'examen du scanner, et un support mobile recevant la main et dont le déplacement est actionné par un opérateur à l'aide de deux cordes. Les pièces imprimées en 3D correspondent à la rotule centrale permettant le déplacement du support mobile sur le socle fixe, puis les plots de délimitation du secteur d'amplitude de mouvement souhaité. Nous avons défini cette amplitude à 30° en déviation radiale et 30° en déviation ulnaire.



*Figure 13. (A, B) - Photographies du dispositif spécifique dédié et d'un poignet gauche cadavérique installé dessus dont le poignet va être mobilisé en déviation radio-ulnaire. (C) - Pour chaque poignet, un examinateur indépendant a effectué un mouvement passif de manière continue et homogène, de l'inclinaison radiale maximale à l'inclinaison ulnaire maximale, puis un retour en position neutre (cycle complet de déviation radio-ulnaire pendant 8 secondes). (D) - On visualise la dissociation scapholunaire créée en sectionnant les trois segments du ligament interosseux scapholunaire, le ligament radiocarpien dorsal, le ligament intercarpien dorsal et le septum capsulo-scapho-lunaire dorsal avec une lame de scalpel (R : radius ; S : scaphoïde ; L : lunaire ; C : majuscule).*

Chaque poignet a été scanné en dynamique, avant toute dissection, puis après réalisation d'une instabilité scapholunaire par section des ligaments stabilisateurs, et afin après reconstruction au moyen d'une ligamentoplastie « SLIC ». Cette expérience nous a permis de confirmer l'efficacité de cette technique pour corriger les caractéristiques anatomiques de la dissociation scapholunaire. Ces résultats soutiennent les études cliniques précédentes, selon lesquelles la ligamentoplastie « SLIC » est efficace pour réduire la dissociation et restaurer la synergie et stabilité articulaire du couple scapholunaire.

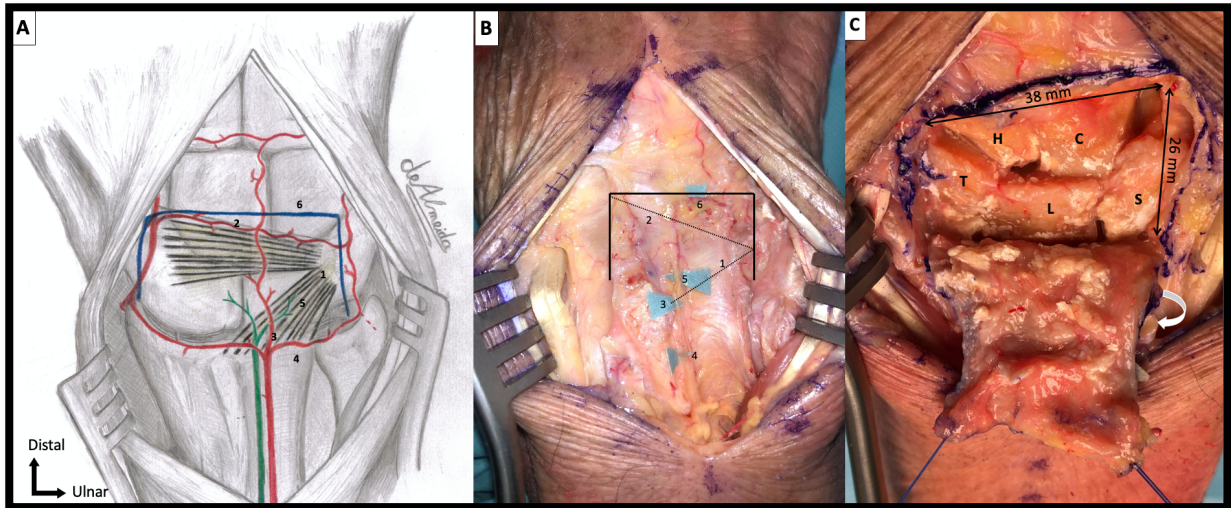
De plus, le 4DCT a permis de démontrer l'impact anatomique de la section des ligaments stabilisateurs sur la genèse d'une instabilité scapholunaire et l'altération de la stabilité des os du carpe.



**Figure 14.** Images du rendu cinématique 3D acquises en 4DCT au niveau de l'articulation scapholunaire après section ligamentaire puis ligamentoplastie « SLIC ». Nous observons avec précision (et lors du mouvement de poignet) l'état de dissociation scapholunaire (A, B) puis après chirurgie, la correction de cet état pathologique et la restauration de la synergie de cinématique du couple scapholunaire (C, D).



La ligamentoplastie « SLIC », comme les autres ligamentoplasties scapholunaires, nécessite d'aborder l'articulation du poignet. La plupart des auteurs proposent l'utilisation d'une voie d'abord dorsale plutôt que palmaire pour des raisons de facilité d'exposition (Berger et Bishop, 1997). Plusieurs dessins de capsulotomie ont été décrits telles que longitudinale, transversale, oblique, en « L », en « T », etc. (Anakwe et al., 2012). La capsulotomie transligamentaire en « V » à charnière radiale décrite par Berger et al., (1995) reste la technique la plus répandue. Cette dernière a pour avantage d'apporter une bonne exposition des os du carpe. Toutefois, Hagert et al., (2010) dans leur étude anatomique, notaient l'absence de respect de l'intégrité des fibres longitudinales des ligaments extrinsèques dorsaux radiocarpien et intercarpien. Ces ligaments jouent un rôle important dans la stabilité du couple scapholunaire. De même, l'innervation capsulaire, représentée par le nerf interosseux postérieur, est systématiquement sectionnée. Les auteurs soulignaient l'importance du respect de ce nerf par sa fonction proprioceptive du poignet, et notamment lors de la rééducation postopératoire. Ainsi, une approche dorsale de poignet permettant une exposition de l'ensemble du carpe tout en respectant les structures ligamentaires et vasculo-nerveuses capsulaires serait d'un grand intérêt. En essayant de répondre à ce cahier des charges, j'ai encadré le Docteur Marie-Cécile SAPA pendant son SIR dans la conception d'une nouvelle capsulotomie dorsale. Nous nous sommes basés sur un schéma en « U » à charnière proximale répondant à trois objectifs. Premièrement, éviter toute cicatrisation des fibres ligamentaires qui pourrait affaiblir leurs propriétés biomécaniques stabilisatrices. Ensuite, la conservation d'une vascularisation de la capsule articulaire dorsale pourrait présager d'une meilleure cicatrisation capsulaire, et à son tour diminuer la rétraction fibreuse, potentiellement source de raideur articulaire. Enfin, le respect de l'innervation, notamment en cas de nerf d'aspect sain, ne pourrait qu'être bénéfique lors de la rééducation proprioceptive. À l'aide d'une étude cadavérique, nous avons pu confirmer la faisabilité technique de cet abord chirurgical. Afin de répondre à nos trois objectifs, l'analyse descriptive du trajet des ligaments, de la vascularisation et de l'innervation de la capsule dorsale était indispensable. Pour cela, nous avons procédé à une injection intra-artérielle de silicone de chacune des pièces. Dans chaque lambeau capsulaire disséqué, nous avons systématiquement trouvé les structures ligamentaires, vasculaires et nerveuses individualisées, ce qui implique qu'elles étaient intactes sur leurs trajets. La surface moyenne d'exposition permettait un accès facile aux os du carpe et aux espaces articulaires radio-carpien et médio-carpien. La prochaine étape serait de valider nos résultats et hypothèses en pratique clinique.



**Figure 15.** Schéma (A) et photographie (B) d'une vue postérieure de poignet illustrant les structures anatomiques et le contour de la capsulotomie (traits noirs). 1 : Ligament radiocarpien dorsal (ligne pointillée) ; 2 : ligament intercarpien dorsal (ligne pointillée) ; 3 : branche terminale du nerf interosseux postérieur ; 4 : branche dorsale de l'artère interosseuse antérieure ; 5 : arc artériel radiocarpien dorsal ; 6 : arc artériel intercarpien dorsal. Photographie d'une vue postérieure d'un poignet droit (C) illustrant l'exposition des os du carpe. Les flèches noires indiquent les contours de la capsulotomie et la surface d'exposition. S : scaphoïde ; L : lunatum ; T : triquetrum ; C : capitatum ; H : hamatum.

#### 5.2.4. Bilan de la recherche dans la thématique instabilité scapholunaire

L'analyse de la littérature rend compte des difficultés tant diagnostiques que thérapeutiques que pose l'instabilité scapholunaire préarthrosique.

Dans de nombreux cas, le diagnostic de cette pathologie est souvent difficile à établir sur la base unique des données en imagerie conventionnelle, rendant l'arthroscopie exploratrice comme étape chirurgicale intermédiaire. Malgré sa performance diagnostique, l'arthroscopie reste limitée par son manque de reproductibilité, par son défaut de quantification et par son caractère invasif non dénué de risque. Nos différents travaux portant sur le 4DCT ont permis de montrer l'intérêt de cette nouvelle technique d'imagerie dynamique. Au vu des différents résultats, des valeurs anormales des paramètres étudiés en 4DCT semblent indiquer des changements biomécaniques significatifs dans les poignets dissociés, y compris pour des stades précoces d'instabilité. Ainsi, il peut être possible d'identifier et de traiter des patients présentant un stade débutant de la pathologie. Le caractère multiparamétrique, quantitatif et reproductible du 4DCT lui confère un rôle diagnostique et aussi pronostique. Ces avantages associés à la corrélation mise en évidence avec l'analyse arthroscopique font du 4DCT une réelle alternative à l'arthroscopie exploratrice diagnostique ; d'autant que malgré son caractère irradiant, les doses d'exposition restent faibles.

Le 4DCT a permis également d'apporter une preuve supplémentaire de l'efficacité de notre technique de ligamentoplastie « SLIC » dans le traitement de l'instabilité scapholunaire. Grâce à une étude anatomique, nous avons confirmé les bons résultats constatés dans nos précédentes études cliniques. Contrairement aux radiographies conventionnelles utilisées dans ces dernières, la 4DCT n'est pas influencée par le phénomène de superposition et les erreurs de mesure liées à la position du poignet. Il a permis de quantifier les distances entre les os du carpe lors du mouvement avec plus de précision et une meilleure reproductibilité intra- et inter-observateur que les radiographies. Nos travaux soutiennent l'utilisation du 4DCT pour l'évaluation postopératoire des patients présentant des symptômes persistants et où la radiographie peut être non contributive.

Toutefois, des études complémentaires, cliniques, avec un large effectif, incluant une évaluation cinématique 4DCT pré- et postopératoire sont nécessaires pour asseoir nos résultats et apprécier pleinement la valeur diagnostic et pronostic du 4DCT. Comme toute imagerie dynamique, le choix du mouvement à faire réaliser par le patient, afin d'obtenir la meilleure performance diagnostique, reste sujet à questionnement. Ces données pourraient être apportées par notre étude biomécanique utilisant le robot KUKA® avec les trois grands types de mouvements du poignet.

Pour finir, la poursuite à long terme de l'évaluation de nos patients opérés d'une ligamentoplastie « SLIC » est indispensable afin de s'assurer du maintien de nos résultats dans le temps, et de la prévention du risque arthrosique.

### 5.3. LE CAL VICIEUX DU RADIUS DISTAL

#### Encadrements :

##### Master 2 : Arnaud Citarel

- Méthodologie d'analyse tridimensionnelle du radius pour la planification opératoire.
  - Soutenue le 30 octobre 2020
  - Encadrement à 50 %
  - Publication associée : ACL-21

##### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Yoan-Kim De Almeida

- Modélisation et planification préopératoire assistée par ordinateur de l'ostéotomie correctrice des cals vicieux extra-articulaires de l'extrémité distale du radius.
  - Soutenue le 27 janvier 2020
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-19

##### Thèse d'exercice : Dr. Lucille Auberson

- Influence de la déformation sagittale du radius distal sur la prono-supination de l'avant-bras : une étude cadavérique.
  - Soutenue le 15 octobre 2021
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-43

Les fractures du poignet ou radius distal sont aujourd'hui les plus fréquentes, représentant près de 20% de la totalité des fractures. Le cal vicieux est une complication majeure après une fracture du radius distal, notamment en cas de traitement inadapté (Pauchard et al., 2016).

Il existe de nombreux types de fractures, notamment intra- et extra-articulaires. Ces dernières représentent 65 % des fractures et sont généralement classées en fonction de la déformation en basculement palmaire ou dorsal (Rundgren et al., 2020). Le cal vicieux du radius distal peut entraîner une douleur chronique et une perte de fonction du poignet et de l'avant-bras. Dans certains cas, cela peut être invalidant, nécessiter des arrêts de travail, faisant de cette problématique un enjeu de santé publique.

Les patients présentant un cal vicieux symptomatique sont candidats à une chirurgie d'ostéotomie correctrice (Prommersberger et al., 2002). Des études antérieures ont montré qu'une reconstruction anatomique précise est importante pour obtenir des résultats optimaux (Jupiter et Fernandez, 2002 ; Ladd et Huene, 1996). Par conséquent, une planification préopératoire et une procédure chirurgicale précise sont essentielles. Typiquement, l'évaluation de la déformation osseuse et la planification de la correction sont réalisées à l'aide de radiographies simples (Kreder et al., 1996).

Cependant, le cal vicieux du radius distal est considéré une déformation 3D complexe et la planification préopératoire basée sur des radiographies simples 2D peut ne pas être suffisamment précise pour assurer une correction anatomique (Miyake et al., 2012). Des études récentes ont révélé qu'une déformation résiduelle est présente dans plus de 50 % des cas et affecte négativement le résultat fonctionnel (Prommersberger et al., 2002 ; von Campe et al., 2006).

Récemment, des modèles osseux 3D créés à partir de données de tomodensitométrie ont été utilisés pour quantifier l'ampleur d'une déformation (Athwal et al., 2003 ; Miyake et al., 2013). La précision obtenue constitue un réel avantage soulignant l'hypothèse que les techniques de planification 3D assistée par ordinateur pourraient être une solution intéressante pour mieux analyser la déformation et améliorer la précision du réalignement osseux.

Dans cette thématique, le protocole de recherche clinique « PAOP » (Planification Assistée par Ordinateur du Poignet) est en cours. L'inclusion des patients a commencé en mai 2017. Son objectif est d'évaluer la précision et les avantages de la modélisation et la planification préopératoire 3D assistée par ordinateur dans les ostéotomies correctrices des cals vicieux du poignet.

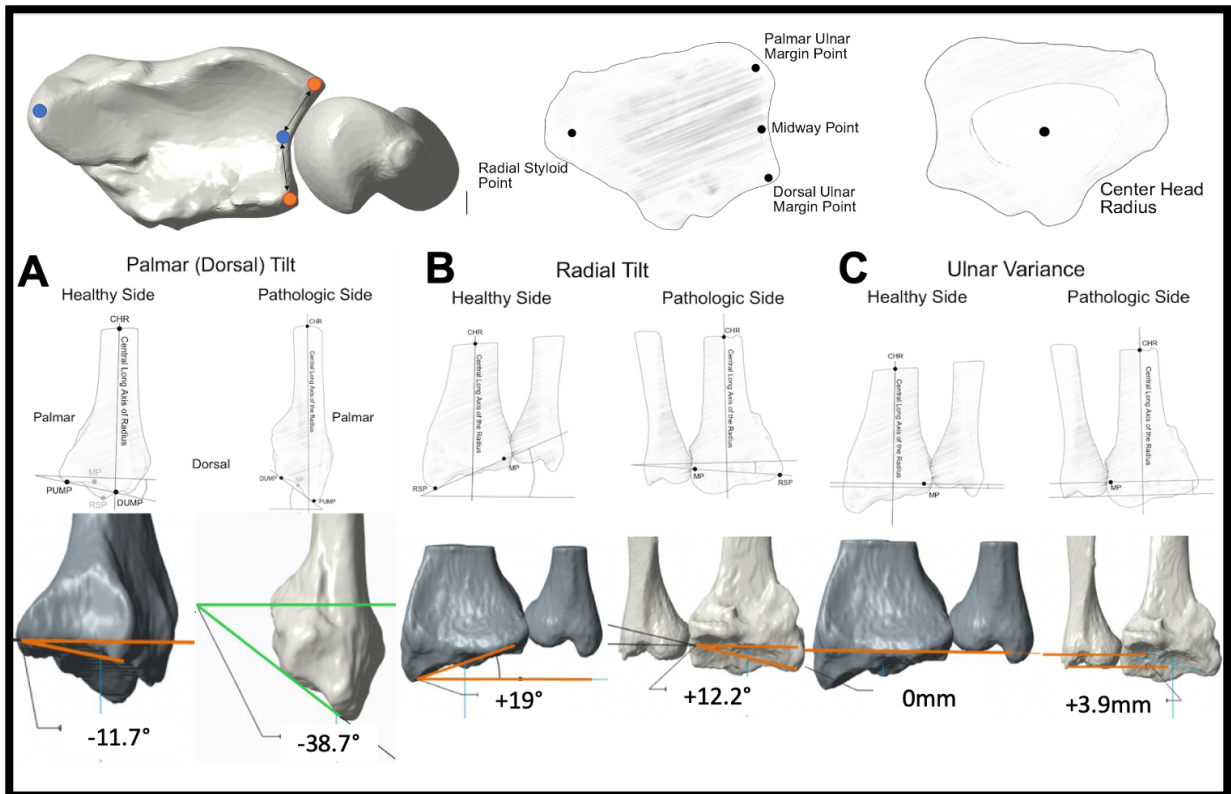
Nous collaborons avec l'équipe du Professeur Mark ROSS, à l'Université de Queensland (Brisbane, Australie).

### 5.3.1. Planification préopératoire 3D assistée par ordinateur

Aujourd'hui, les technologies d'imagerie 3D sont de plus en plus utilisées pour planifier les chirurgies de réalignement osseux. Pour les membres, grâce à ces techniques, des modèles osseux virtuels 3D peuvent être créés à la fois pour l'os déformé, mais aussi pour l'os controlatéral sain. Ces modèles sont ensuite utilisés pour planifier la correction osseuse (Buijze et al., 2012). Ces nouvelles méthodes d'analyse nécessitent de revoir les mesures habituellement faites sur les radiographies, soulevant notamment la question du passage de la 2D vers la 3D. À la différence des radiographies, il n'existe pas en 3D de référentiel de mesure universel, accepté de tous, pour caractériser une déformation et planifier une chirurgie.

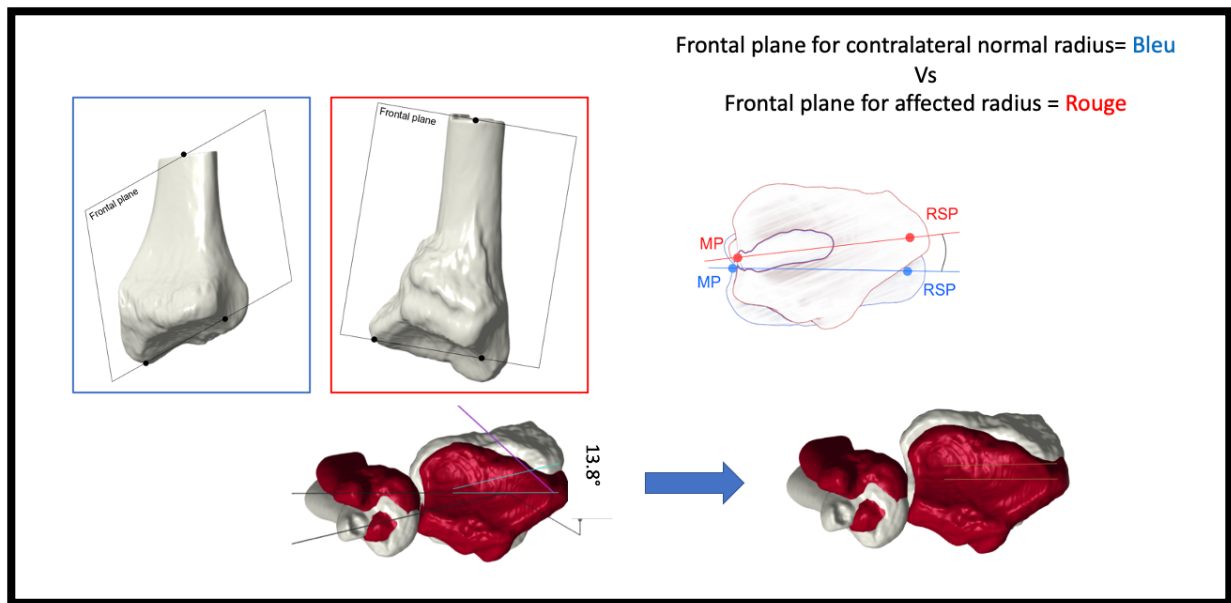
Dans le cadre du Master 2 d'Arnaud Citarel, en association avec Audrey Chenel, Docteur en Biomécanique, responsable de la division PSI chez Newclip Technics, nous avons étudié la modélisation et la planification 3D des cals vicieux extra-articulaires du radius distal.

Du fait de mon expérience en chirurgie orthopédique, j'ai trouvé indispensable lors d'une première étude de définir l'équivalent 3D des repères (angles, distances) classiquement utilisés en radiographie pour analyser la déformation osseuse. Sur la base de 13 cas de cals vicieux, nous avons pu évaluer la corrélation et comparer la précision de l'évaluation de la déformation, à l'aide des mesures radiographiques par rapport aux mesures de la méthode 3D. Cette étude a démontré que malgré des petites différences, les mesures effectuées sur des radiographies standards et celles sur des modèles osseux informatiques 3D étaient corrélées, validant ainsi notre méthode d'analyse 3D. Toutefois, plusieurs observations intéressantes ressortaient de cette étude. Premièrement, notre méthode 3D semble fournir une mesure plus précise, en particulier pour les cas à déformation angulaire importante. Nous avons pu attribuer cette donnée au fait que l'analyse 3D permet de contourner le phénomène de superposition et les erreurs liés à la position du poignet du patient lors des radiographies standards. Deuxième, la superposition des modèles virtuels 3D des radius déformés avec leurs correspondants sains controlatéraux, a rendu possible la quantification de la déformation axiale en rotation. La mesure de ce désalignement rotationnel représente une avancée considérable dans la compréhension de cette pathologie.



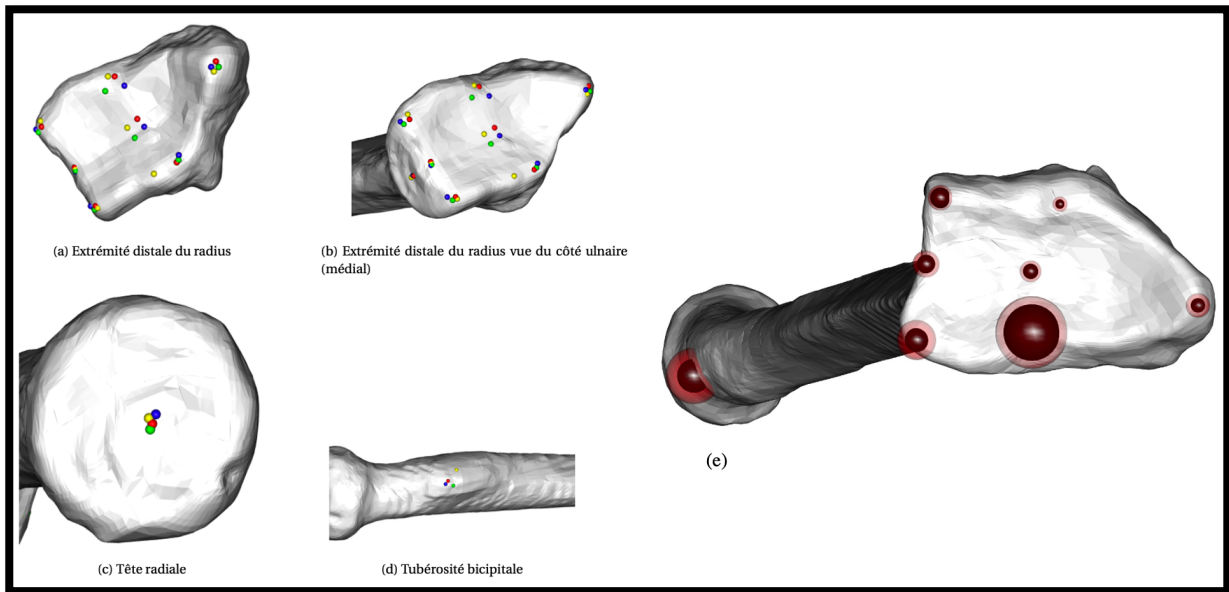
**Figure 16.** Évaluation de la déformation à l'aide des modèles osseux informatiques 3D. L'inclinaison palmaire 3D (A), l'inclinaison radiale 3D (B) et la variance ulnaire 3D (C) peuvent être mesurées sur le poignet pathologique et le côté sain controlatéral. MP : point médian, RSP : point styloïde radial, DUMP : point marge ulnaire dorsal, PUMP : point marge ulnaire palmaire.





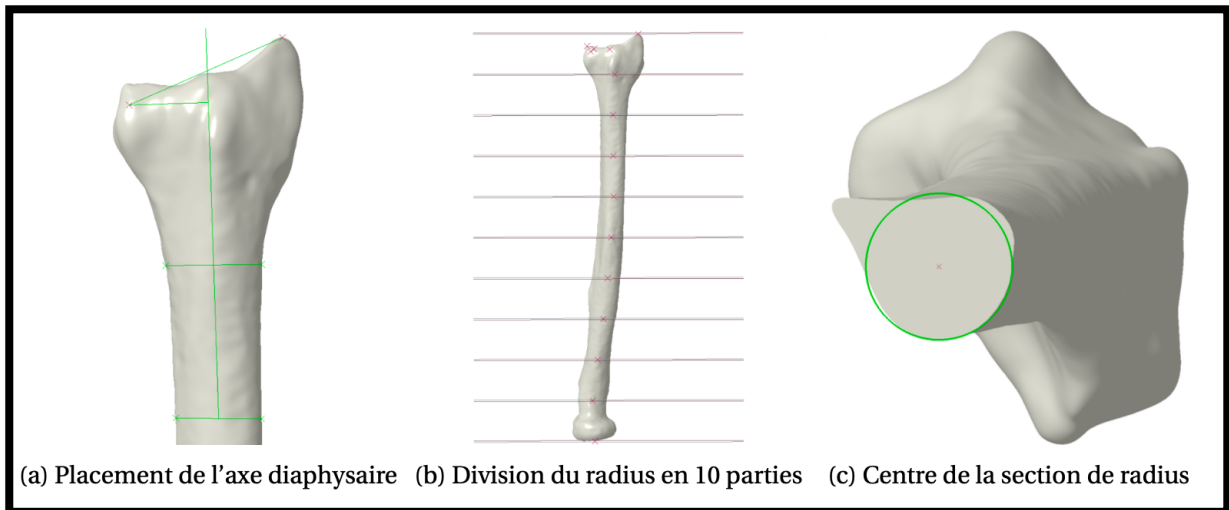
**Figure 17.** Évaluation de la déformation en rotation axiale à l'aide des modèles osseux informatiques 3D. Les plans frontaux du radius sain controlatéral et du radius pathologique sont superposés en proximal et distal. L'amplitude de la déformation est évaluée en calculant la valeur, en degrés, entre les deux plans axiaux définis pour les deux images superposées. MP : point médian, RSP : point styloïde radiale.

Lors de la réalisation de cette première étude, deux questionnements ont été soulevés, la reproductibilité inter-observateurs dans la mesure des repères 3D et la variabilité des mesures en fonction de la longueur du radius modélisé. En effet, les repères établis sur les radiographies et les modèles 3D sont basés sur des points positionnés manuellement par un opérateur. Leurs placements présentent une incertitude de reproductibilité. Cette limite relevée par de nombreux modèles 3D de la littérature (de Roo et al., 2020) n'est presque jamais sujette à discussion. Nous avons donc avec Arnaud Citarel, demandé à différents opérateurs (chirurgiens, ingénieurs) de placer sur des modèles 3D de radius, l'ensemble des points nécessaires à la mesure de nos repères. L'objectif était d'évaluer la variabilité entre opérateurs dans les trois directions de l'espace pour chacun des points. Préalablement, nous avons vérifié que tous les opérateurs avaient compris la définition des points. Nos résultats nous ont permis de confirmer la très bonne reproductibilité inter-observateurs de positionnement des points de notre méthode 3D. Ainsi, dans l'objectif d'améliorer l'analyse du radius en 3D et sa déformation en cas de cal vicieux, il semble raisonnable de se baser sur nos repères.



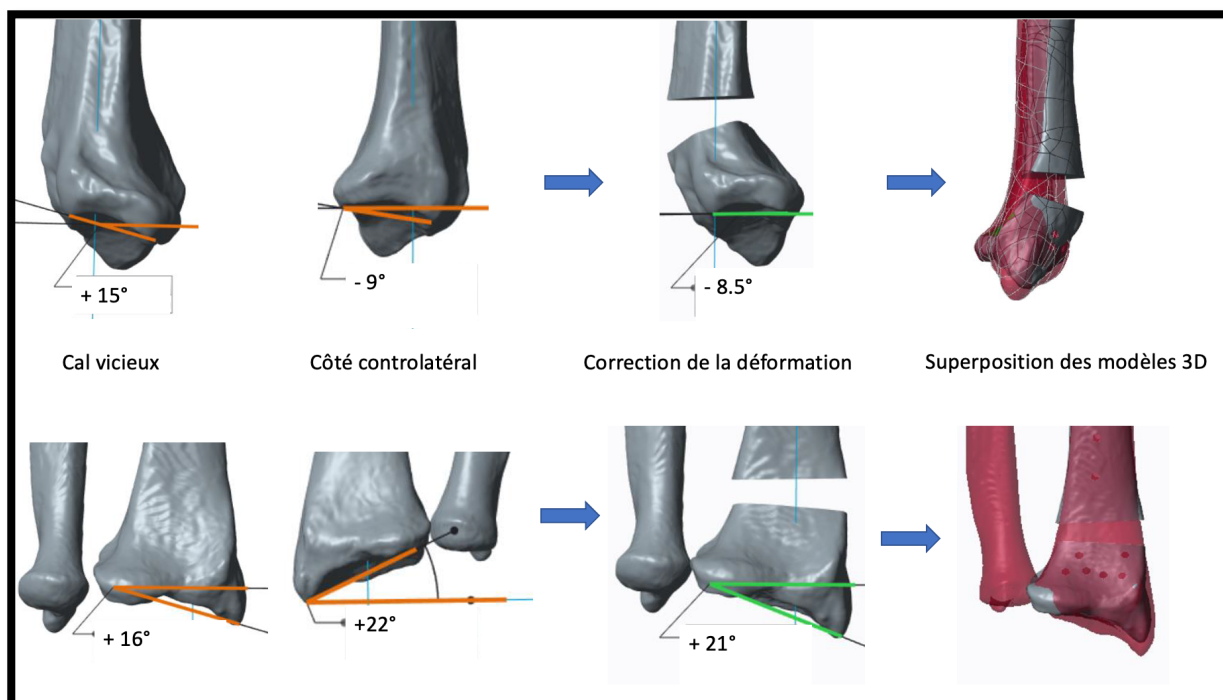
*Figure 18. Exemple de reproductibilité de placement des points sur un radius (chaque couleur correspond à un opérateur). Visualisation des sphères d'erreur selon la méthode d'Innocenti (e) (la sphère claire représente l'écart-type).*

Malgré tout, dans le cadre de la mise en place d'un référentiel d'étude 3D pour le radius distal, connaître la hauteur de radius à scanner pour effectuer nos mesures est primordial. Classiquement, il est demandé de scanner l'ensemble de l'avant-bras afin de pouvoir modéliser la totalité du radius. Usuellement, pour une pathologie au poignet, une zone d'acquisition autour de ce dernier permettrait de réduire l'exposition des patients aux radiations. C'est dans cet objectif que nous avons montré que la hauteur de radius n'influence que très peu la reproductibilité inter- et intra-observateurs. Une hauteur de 30% de radius est suffisante pour planifier la correction du cal vicieux du poignet.



*Figure 19. Illustrations de la méthode pour évaluer l'influence de la longueur du radius sur les mesures d'angle.*

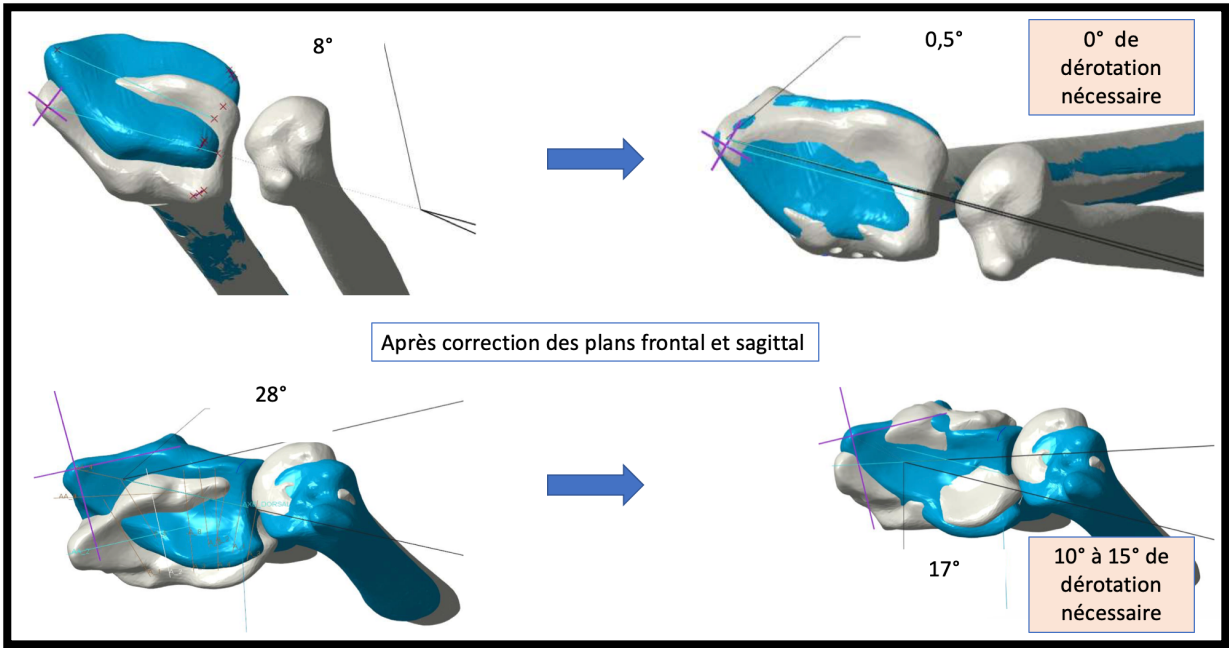
Une fois l'analyse 3D de la déformation osseuse effectuée, l'étape suivante consistait en la planification de la correction osseuse. Intuitivement, nous avons commis l'erreur de considérer que la correction à effectuer correspondait à la différence quantitative des mesures des repères entre le radius pathologie et son homologue sain controlatéral. Rapidement, il est apparu logique que la réorientation de l'épiphyse radiale distale pathologique devait être celle permettant d'atteindre les valeurs des repères 3D du radius sain, sans pour autant correspondre à la quantité de déformation définie comme la différence quantitative de mesures entre les deux côtés. À nouveau, cela a appuyé le rôle primordial de la déformation axiale en rotation, uniquement appréciable en 3D.



*Figure 20. Illustrations de la méthode de planification de la correction osseuse sur la base du côté controlatéral sain.*

Un autre élément a soulevé une réflexion ; celui de la séquence des plans (frontal, sagittal, axial) à faire varier. Après de multiples essais avec Arnaud Citarel et Audrey Chenel, la séquence la plus logique et fiable était la réorientation première dans les plans frontal et sagittal. Puis à ce stade, une nouvelle analyse de la déformation axiale en rotation résiduelle devait être faite. Lorsqu'il persistait un trouble de rotation significatif (supérieur à 10°), une étape de réorientation dans le plan axial (dérotation) était utile.

Ainsi, nous avons pu constater l'importance du suivi de la variation des valeurs de nos repères 3D lors du processus de planification de la correction osseuse, afin d'éviter toute imprécision.



*Figure 21. Illustrations de l'évaluation de la déformation axiale en rotation résiduelle indiquant la nécessité ou pas de planifier de la dérotation.*

### 5.3.2. Chirurgie guidée et impression 3D

La planification 3D assistée par ordinateur permet également de créer des guides de coupe et de perçage, spécifiques au patient pour le guidage peropératoire de la correction osseuse. De même, le positionnement de la plaque de fixation et des vis, les zones d'hypertrophie osseuse à retirer pour bien ajuster la plaque sur le radius, et le modèle de greffon parfait pour combler le déficit osseux après réorientation épiphysaire peuvent être simulés.

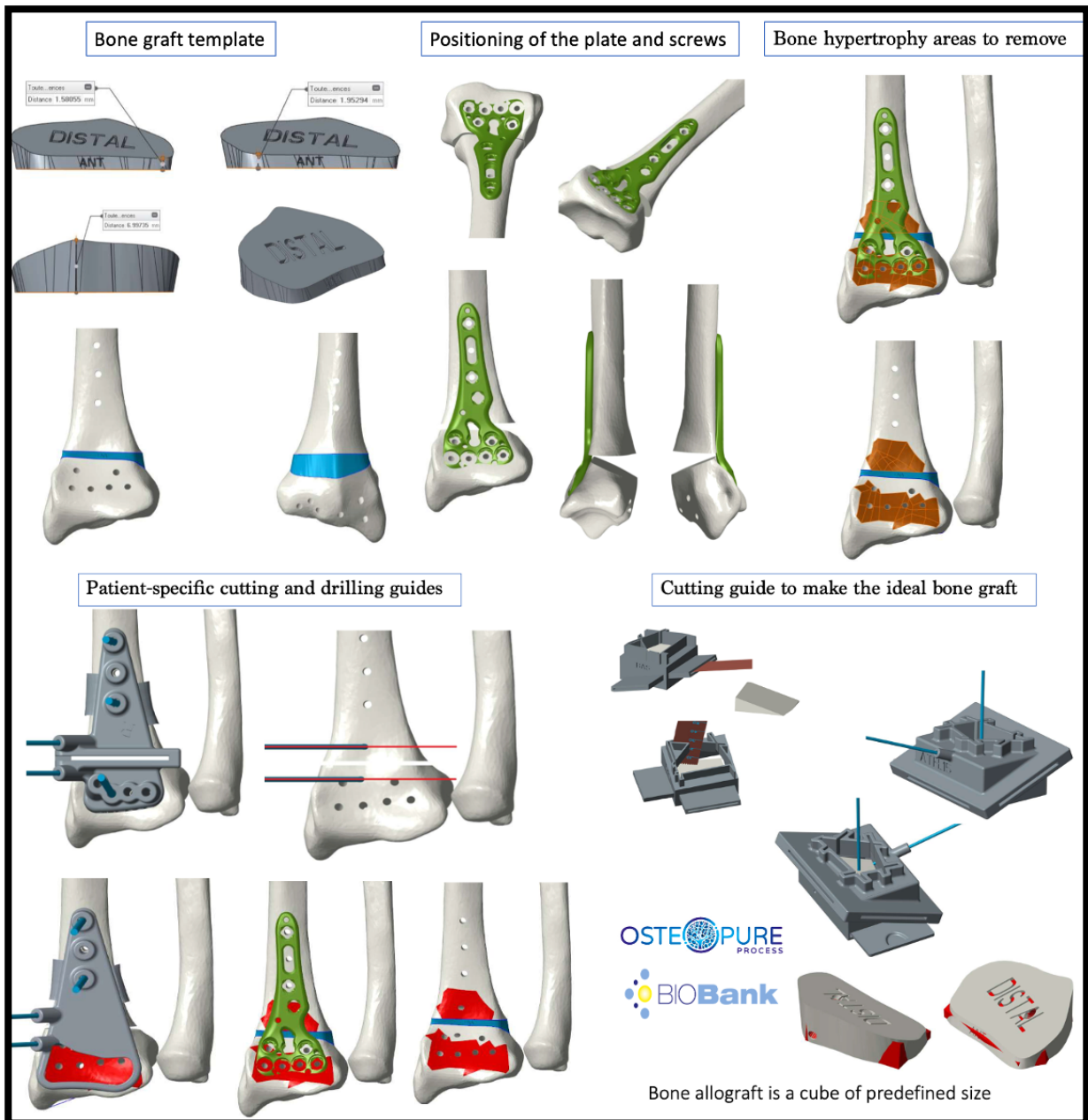
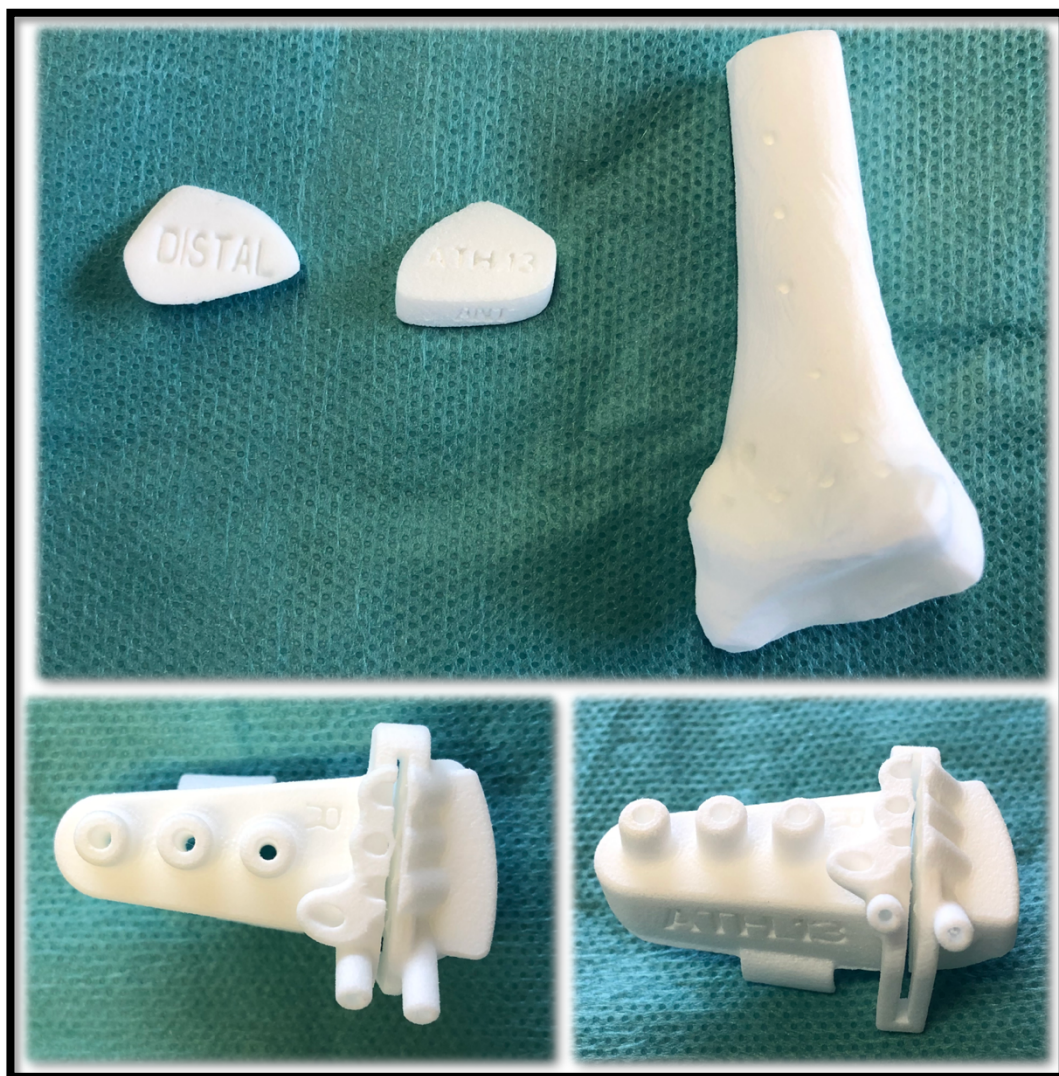


Figure 22. Illustrations des différentes étapes chirurgicales accessibles à une planification 3D pour le guidage peropératoire de la correction osseuse.



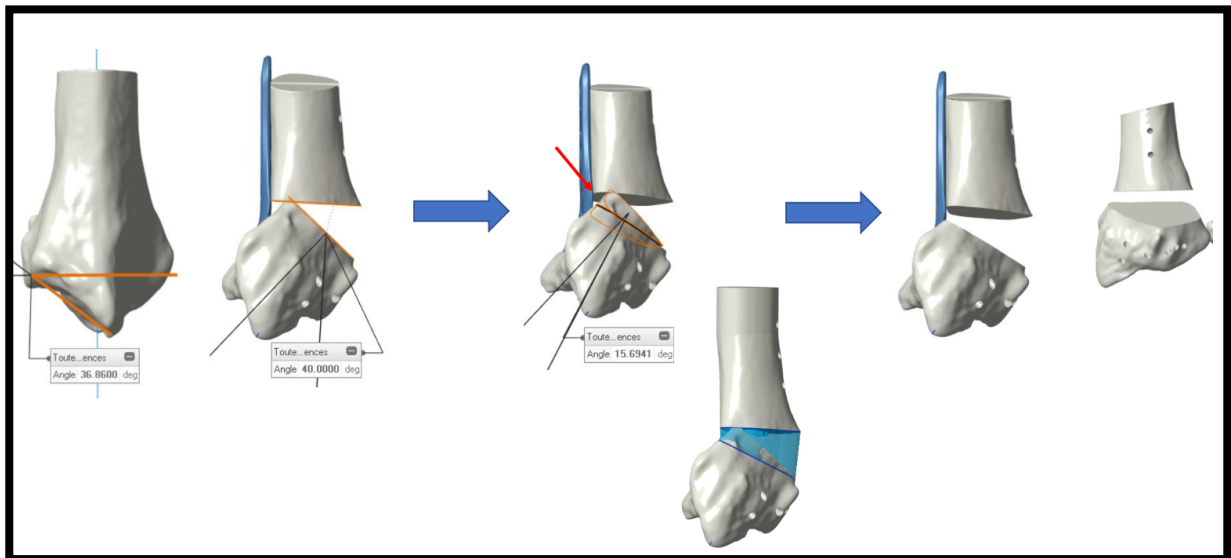
Par la suite, l'ensemble des guides et modèles virtuels des os sont imprimés en polyamide (PA 2200) à l'aide d'une imprimante 3D à frittage sélectif par laser (Formiga P110, EOS, Maisach, Allemagne) puis stérilisés avant utilisation au bloc opératoire.

Avec Audrey Chenel, nous avons énormément travaillé sur le design des guides. Il fallait que ceux-ci puissent venir parfaitement s'appliquer sur l'os, être stabilisés durant la procédure d'ostéotomie à la scie oscillante et le perçage des trous des futures vis. La chambre d'ostéotomie devait permettre d'effectuer la coupe de l'os en totalité sans retrait du guide. Ce travail nous a permis de passer progressivement d'un guide en deux parties à un guide monobloc, plus simple d'utilisation.



*Figure 23. Photographies de l'impression 3D en polyamide (PA 2200) des modèles osseux et guides de coupe.*

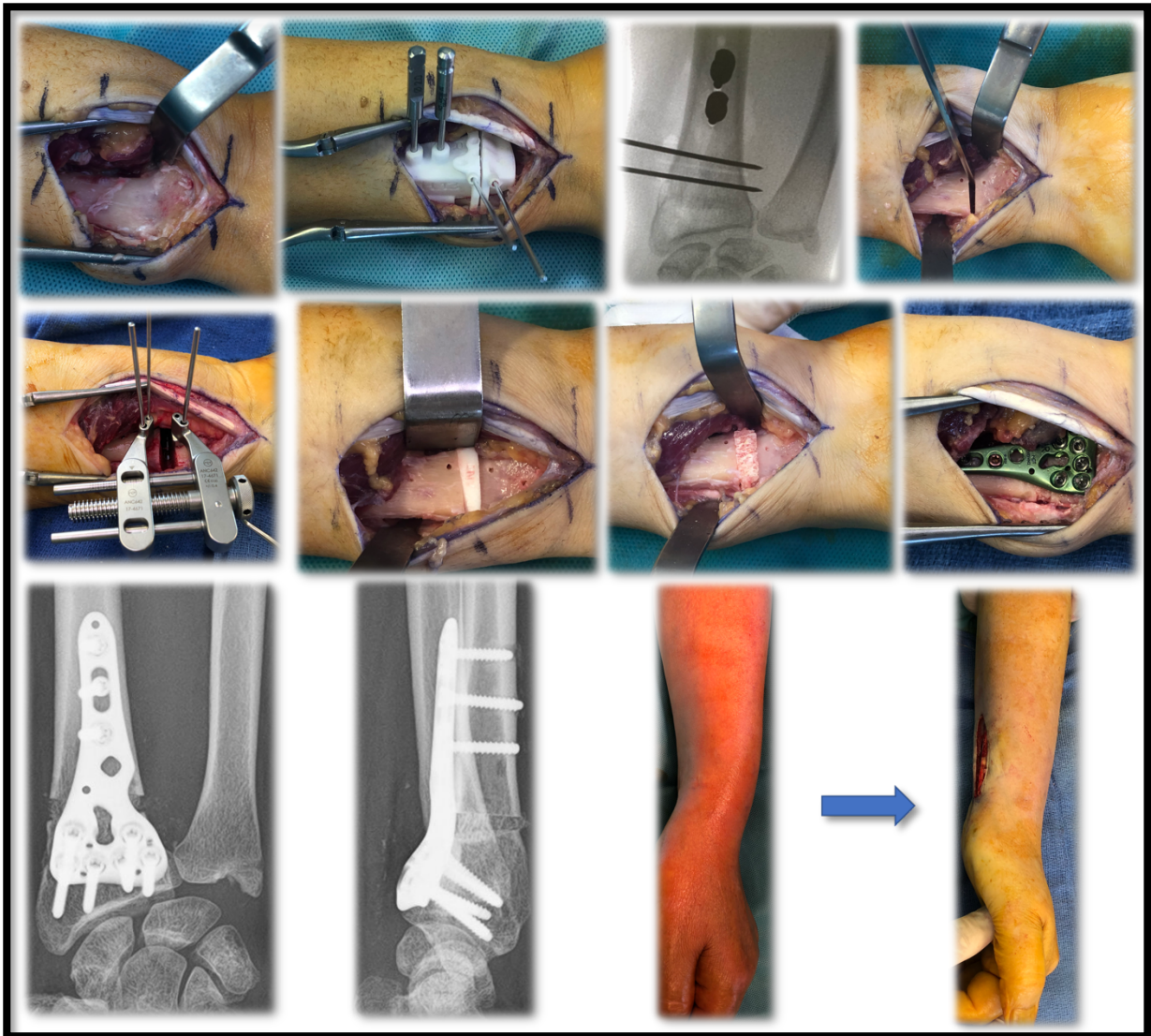
Une des difficultés que nous avons rencontrées est le cas des déformations angulaires sévères. En effet, lorsqu'une réorientation sagittale importante est nécessaire, nous nous sommes rendu compte qu'une double ostéotomie s'impose afin de pouvoir réaliser la correction.



*Figure 24. Illustrations de l'intérêt d'une double ostéotomie en cas d'une réorientation sagittale importante (supérieure à 20°).*

Dans un deuxième temps, nous avons également modélisé des guides de remodelage avec précision des zones d'hypertrophie osseuse lorsque celles-ci étaient importantes, en rapport avec la sévérité de la fracture initiale. L'objectif de ce type de guide était d'éviter une fragilisation trop importante de la corticale du radius par un fraisage non guidé.

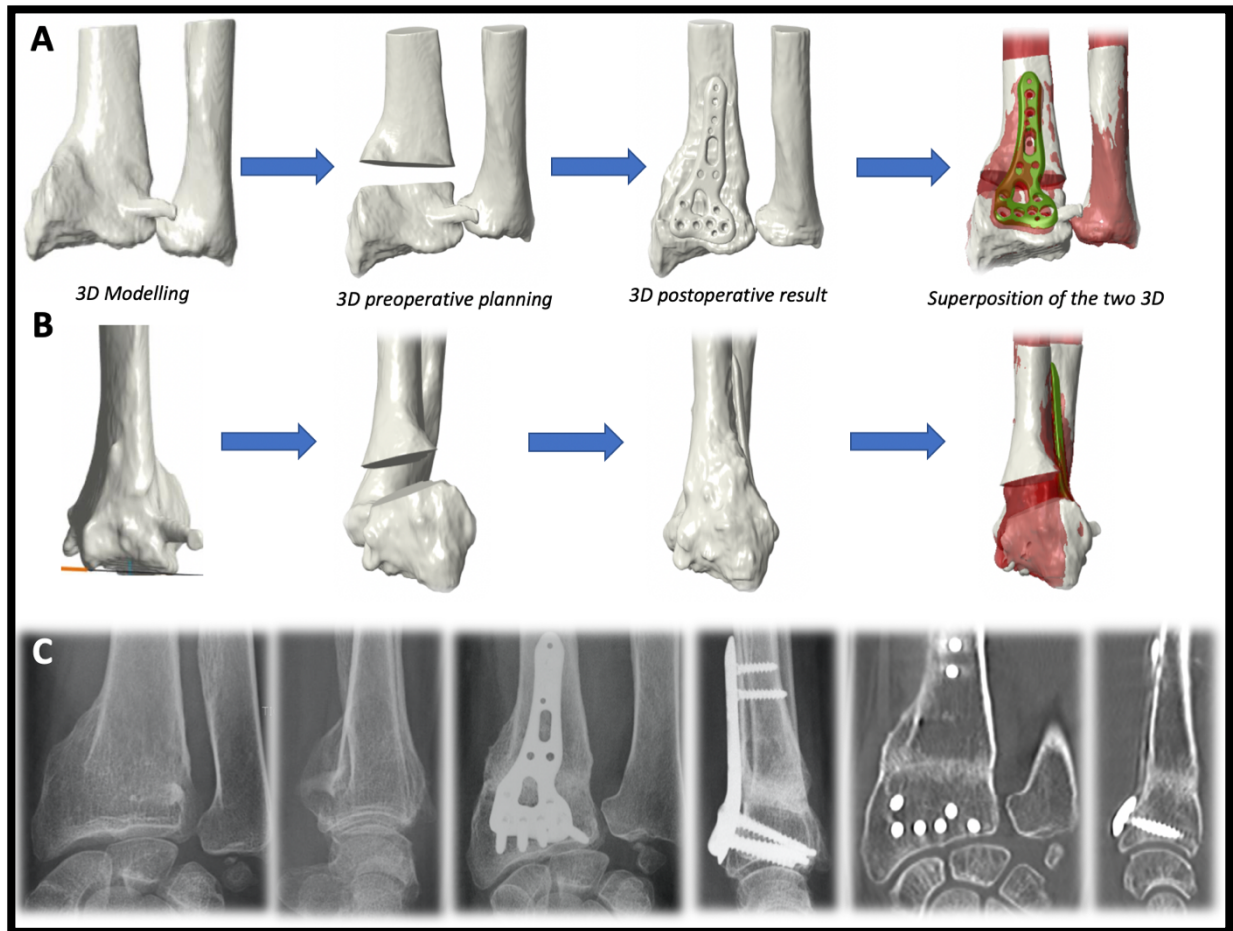




*Figure 25. Photographies des étapes systématisées de la technique chirurgicale, le résultat radiographique et le réalignement clinique du poignet.*

Dans le cadre du SIR du Docteur Yoan-Kim De Almeida, nous avons rapporté les de cette technique chirurgicale chez 16 patients consécutivement inclus. Nos résultats ont montré une amélioration significative de la douleur, de la force de préhension et des mobilités. Tous les patients avaient consolidé avec délai similaire à celui retrouvé dans la littérature. Les études traitant du même sujet sont principalement concentrées sur l'analyse 3D de la déformation, la planification 3D de la correction ou les résultats fonctionnels sans évaluer la corrélation entre la planification préopératoire 3D et les résultats postopératoires radiographiques. Étant donné que notre modèle 3D a montré une corrélation avec l'analyse radiographique, j'ai orienté Yoan-Kim De Almeida vers une analyse comparative des mesures planifiées versus les mesures postopératoires.

Les données sont intéressantes, avec des valeurs 3D préopératoires planifiées sans aucune différence significative avec les valeurs postopératoires obtenues. De même, il n'y avait pas de différence significative entre les valeurs postopératoires du radius opéré et les valeurs 3D du radius sain controlatéral.

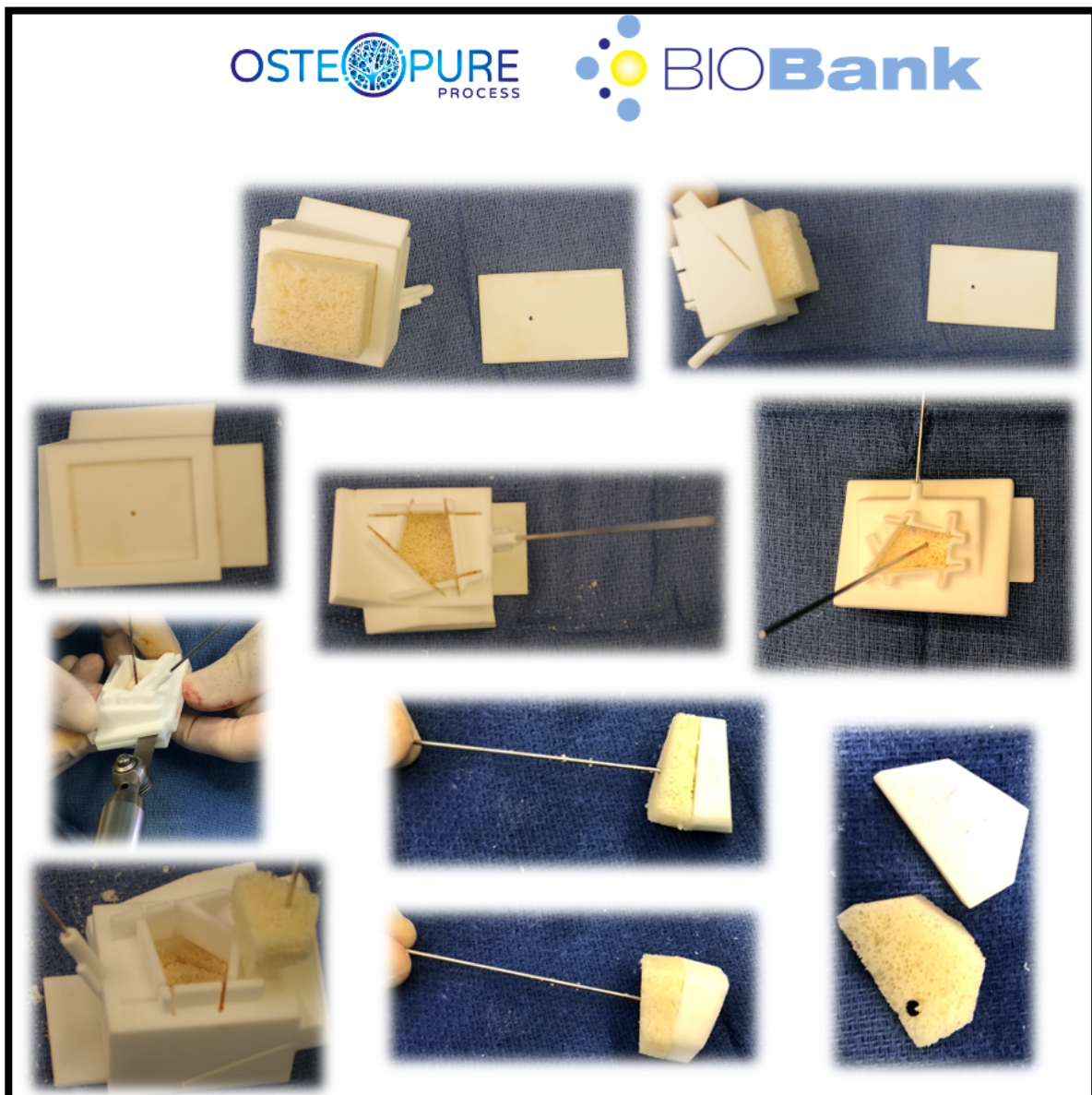


*Figure 26. Exemple d'un cal vicieux extra-articulaire du radius distal avec sa modélisation 3D, la planification préopératoire 3D et résultat postopératoire 3D (A, B). Radiographies montrant le cal vicieux et le résultat radiographique à 4 mois de recul. Scanner du poignet à 6 mois de recul, confirmant les données de la radiographie et permettant de modéliser en 3D le résultat (C).*



Un des enjeux de la chirurgie de correction des cals vicieux est le comblement du déficit osseux induit par la réorientation épiphysaire. Classiquement, un greffon de crête iliaque du patient est utilisé. Toutefois, la morbidité du site donneur est non négligeable. Depuis quelques années, de nombreuses interventions chirurgicales nécessitant une greffe d'os font appel à de l'os de banque. Ce dernier peut se présenter sous la forme de cube de dimensions définies. Sur la base de ce principe, nous avons avec Yoan-Kim De Almeida et Audrey Chenel, envisagé l'utilisation d'un greffon osseux d'os de banque en remplacement du greffon iliaque.

Notre travail s'est porté sur la conception d'un guide de modelage pouvant accueillir le cube d'os de banque et être recoupé précisément afin d'obtenir la réplique exacte du modèle simulé virtuellement de greffon.



*Figure 27. Photographies de la préparation de l'allogreffe osseuse pour qu'elle corresponde au modèle en polyamide imprimé 3D. Utilisation du guide de modelage du cube os de banque.*

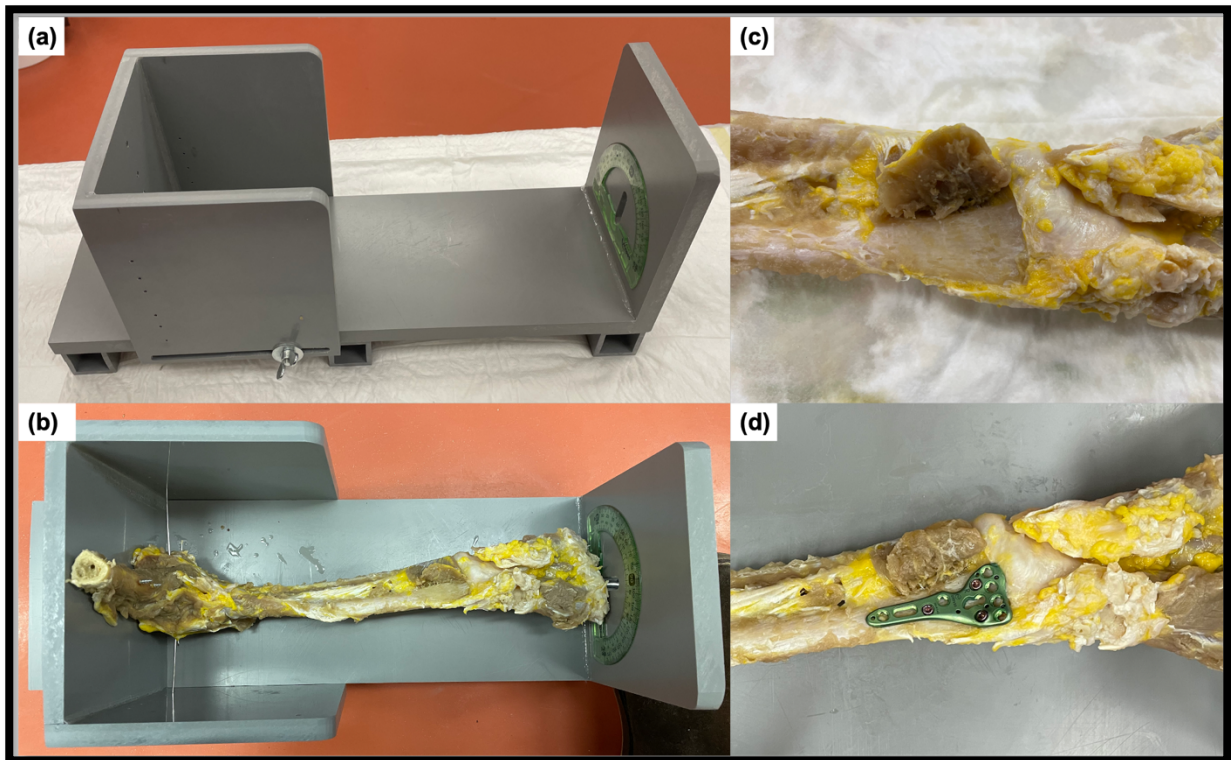
Dans le cadre de la même étude clinique prospective, nous avons pu mettre en place, avec Yoan-Kim De Almeida, cette amélioration et comparer par rapport à une prise de crête iliaque, la durée d'hospitalisation et la durée de consolidation. Nos résultats ont montré une durée d'hospitalisation divisée par deux et une consolidation plus longue de 2 à 3 semaines. Par ailleurs, l'absence de cicatrice sur le bassin était source d'un niveau de satisfaction des patients augmenté.

### 5.3.3. Indication de la chirurgie de correction

Le cal vicieux de radius distal peut entraîner une perte de fonction principalement marquée par une réduction du mouvement de prono-supination (Crisco et al., 2007). Le dysfonctionnement causé par cette déformation interfère avec les activités physiques (Shintani et al., 2018). La rotation de l'avant-bras est essentielle pour effectuer les activités de la vie courante en permettant une multitude de positions complexes de la main (Tynan et al., 2000). De ce fait, la mesure des amplitudes de pronation et de supination est fréquemment utilisée pour évaluer l'efficacité des traitements chirurgicaux (Pauchard, 2016). Pour favoriser une récupération fonctionnelle optimale de l'avant-bras et du poignet, Graham (1997) a proposé des critères radiographiques au-delà desquels une ostéotomie correctrice du radius peut être discutée. Il recommande des limites d'angulation palmaire de 20° et dorsale de 15°. Toutefois, Bronstein et al. (2014) ont indiqué qu'une angulation palmaire ou dorsale de 30° ne restreignait pas significativement l'amplitude des mouvements.

Dans le cadre de la thèse d'exercice du Docteur Lucille Auberson, nous avons émis l'hypothèse qu'une déformation d'angulation palmaire ou dorsale, même mineure, peut réduire la prono-supination de manière significative. J'ai donc orienté Lucille Auberson vers une étude anatomique cadavérique sur 7 membres supérieurs afin d'évaluer l'impact sur l'amplitude de la prono-supination, d'une déformation angulaire du radius distal de plus en plus grande.

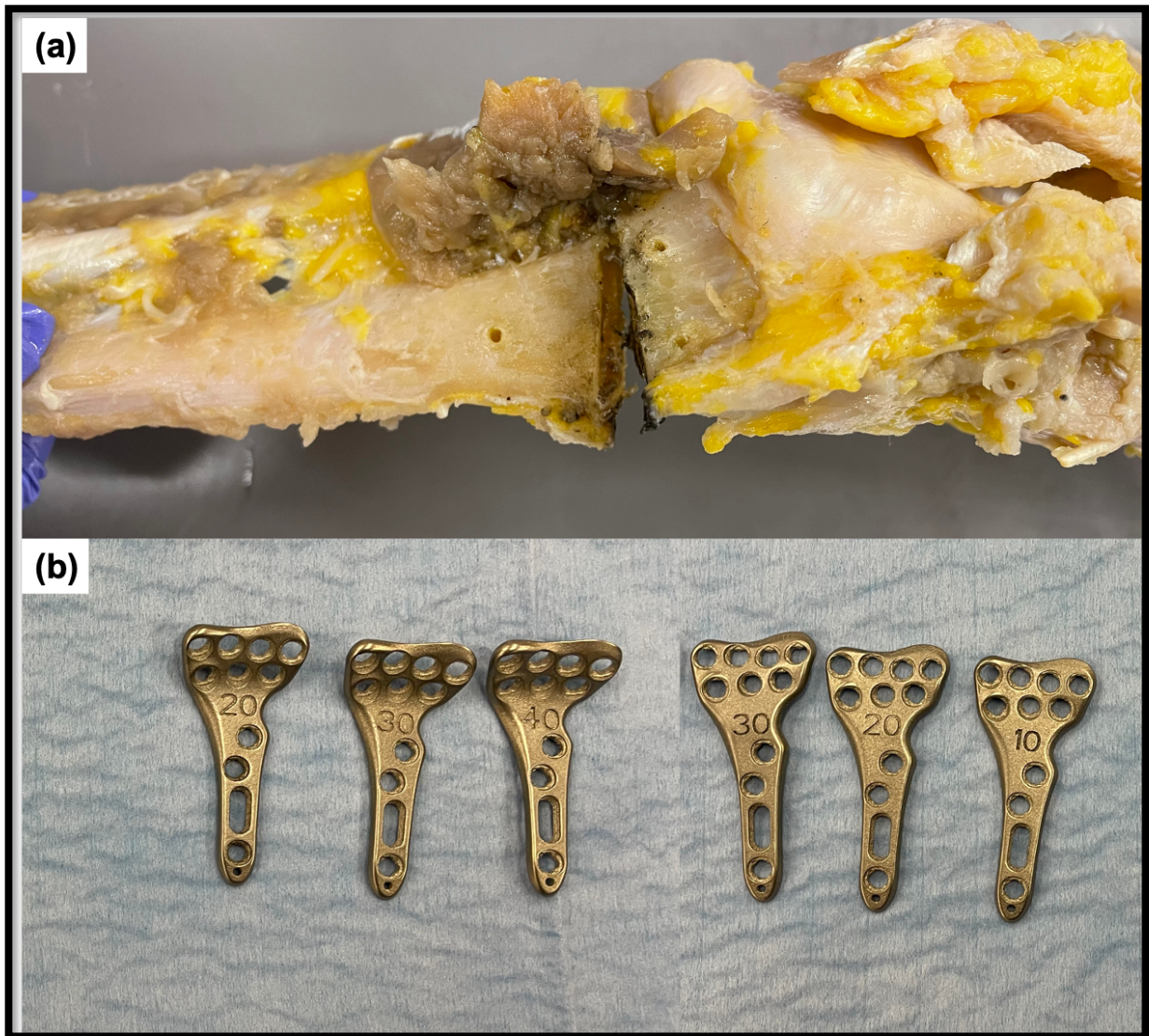
Dans un premier temps, il convenait de fabriquer une station dédiée au maintien du membre supérieur avec le coude fixé à 90° de flexion et l'avant-bras complètement libre pour le mouvement de prono-supination. Pour cela, nous avons fait appel aux compétences d'Alfredo Coluccia, technicien en anatomie au département d'anatomie de l'Université de Genève. Il fallait que cette station soit entièrement radio-transparente pour les besoins de l'étude.



*Figure 28. Photographies illustrant le dispositif expérimental. (a)- La station dédiée à l'expérimentation, conçue sur mesure, peut être ajustée à la taille de l'avant-bras et dispose d'un goniomètre pour mesurer les amplitudes de pronation et de supination. (b) – Le membre préparé est installé avec le coude fixé à 90° de flexion. (c) - Le muscle Pronator Quadratus a été soulevé pour exposer la face palmaire du radius distal. (d) - Une plaque d'ostéosynthèse palmaire anatomique est fixée à l'os avec deux vis épiphysaires et deux vis diaphysaires positionnées dans des trous pilotes prédéfinis.*

La deuxième étape consistait à trouver un système permettant de simuler des déformations sagittales de l'épiphyse radiale distale. Ainsi, nous avons travaillé en collaboration avec un ingénieur spécialisé en biomécanique de chez Newclip Technics afin de concevoir des plaques palmaires sur mesure, imprimés en 3D Titane (TA6V-Eli) à l'aide d'une imprimante 3D à frittage laser direct de métal (RenAM 500S, Renishaw®, Royaume-Uni). Il s'agissait de la première utilisation sur pièce anatomique de cette technologie d'impression en métal. Six plaques ont pu être fabriquées, simulant trois déformations palmaires (20° 30° et 40°) et trois dorsales (10, 20° et 30°).

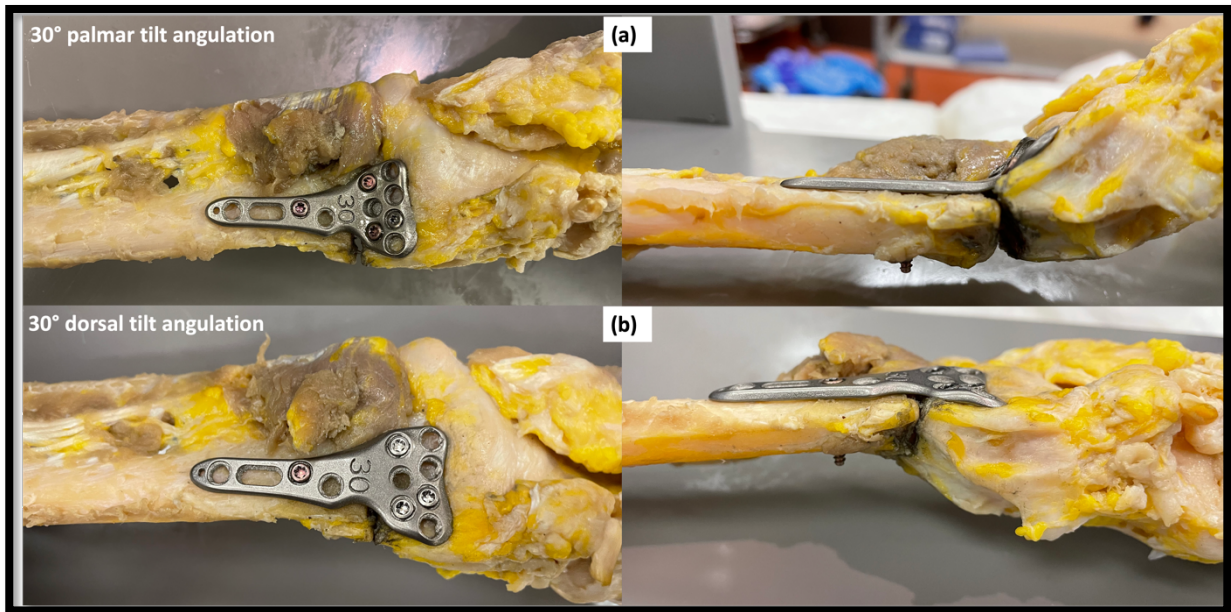




*Figure 29. (a)- Photographies illustrant la double ostéotomie réalisée au niveau métaphysaire, créant un espace vide d'environ 5 mm. (b) Les plaques palmaires imprimées en 3D sur mesure utilisées pour induire les déformations sagittales de l'épiphyse distale du radius.*

Nous avons mesuré en degrés, la pronation et la supination maximales sans contrainte, sur le membre sain puis après chaque déformation induite. Nos résultats ont suggéré que la rotation de l'avant-bras en pronation et en supination est réduite significativement lorsqu'une déformation du radius distal aussi faible que 20° dans la direction palmaire ou dorsale est présente, sans raccourcissement du radius associé. Une autre observation intéressante ressortait de cette étude ; alors que la supination était affectée du même ordre de grandeur pour les déformations palmaires et dorsales, la pronation était significativement plus affectée pour les déformations dorsales que pour les palmaires.

Quoi qu'il en soit, nos résultats ont appuyé les recommandations suggérées par Graham (1997).



*Figure 30. Exemples de déformations sagittales palmaire (a) et dorsale (b) induites par la fixation des plaques imprimées en 3D sur mesure, en utilisant les trous de vis pilotes*

#### 5.3.4. Bilan de la recherche dans la thématique cal vicieux du radius distal

Les informations obtenues avec la méthode 3D des cals vicieux du radius distal nous ont permis d'améliorer notre compréhension de cette déformation complexe. Contrairement à l'analyse radiographique dont les repères ne peuvent être définis que deux plans, l'analyse 3D a rendu possible la quantification de la déformation dans les trois plans de l'espace. Ainsi, nous avons pu apprécier une donnée jusque-là minimisée, la déformation en rotation. Toutefois, dans le but de mieux appréhender la méthode 3D, il était nécessaire de se ramener à des repères équivalents à ceux effectués sur les radiographies, afin d'avoir un vocabulaire de référence, commun à l'ensemble des chirurgiens. Ceci a également validé notre méthodologie d'évaluation de la déformation en 3D et la planification de sa correction en utilisant comme référentiel le poignet sain controlatéral. Ce travail fondamental se place en amont de la définition d'un futur référentiel 3D. En se basant sur ces premières études, des pistes de recherche pour une méthodologie d'analyse 3D du radius seront proposées.

En utilisant notre méthode de planification préopératoire et nos avancées sur les guides imprimés en 3D, aidant à la réalisation de la chirurgie, nous avons obtenu de bons résultats cliniques et radiographiques. La comparaison de ces derniers avec nos valeurs planifiées a renforcé la valeur ajoutée de cette technique en termes de précision de la correction osseuse et de réduction d'un mauvais alignement résiduel.

À cela s'ajoute notre première utilisation de plaques palmaires imprimées en 3D Titane afin de réaliser une étude anatomique permettant de mieux appréhender l'impact de la déformation angulaire de l'épiphyse radiale distale sur les mouvements de pronation et supination, les plus affectés lors d'un cal vicieux. Nous avons également confirmé les limites angulaires annoncées dans la littérature, au-delà desquelles une indication de chirurgie est fortement recommandée afin d'améliorer la fonction du membre supérieur.

Malgré des résultats encourageants présentés dans cette thématique, l'impact clinique de cette technique doit faire l'objet d'études complémentaires afin de confirmer les bénéfices probants du modèle 3D par rapport aux techniques chirurgicales conventionnelles.



## 5.4. LA RHIZARTHROSE

### Encadrements :

#### Thèse d'exercice : Dr. Antoine Martins

- Arthroplastie par implant Moovis® pour le traitement de l'arthrose trapézo-métacarpienne : résultats au recul de 2 à 6 ans.
  - Soutenue le 16 décembre 2019
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-18

#### Thèse d'exercice : Dr. Anne-charlotte Seaourt

- Arthroplastie trapézo-métacarpienne par implant MAIA® versus trapézectomie avec interposition : Étude rétrospective comparative à long terme.
  - Soutenue le 11 octobre 2019
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-32

#### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Marie Martel

- Comparaison de la force de pincement pollici-digitale après trois interventions chirurgicales pour arthrose trapézo-métacarpienne.
  - Soutenue le 15 avril 2021
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-35

#### Stage d'initiation à la recherche : Lucille Auberson

- Comparaison de deux repères radiographiques pour le centrage de l'implant trapézien dans l'arthroplastie totale trapézo-métacarpienne.
  - Soutenue le 3 mai 2021
  - Encadrement à 100%
  - Publication associée : ACL-34

#### Master 2 : Mariette Bergère

- Étude de la biomécanique de l'articulation trapézo-métacarpienne native et prothésée.
  - Soutenue le 23 septembre 2021
  - Encadrement à 50 %
  - Publications associées : ACL-38 et ACL-42

Décrite pour la première fois par Forestier (1937), l'arthrose trapézométacarpienne ou rhizarthrose est la plus fréquente des arthroses péritrapéziennes et est la deuxième localisation arthrosique au niveau de la main (Batra et Kanvinde, 2007). La rhizarthrose affecte préférentiellement la femme de plus de 50 ans (Armstrong et al., 1994). Les douleurs sont localisées à la base du pouce et majorées par la pince pollici-digitale (Bakri et Moran, 2015). L'évolution se fera spontanément vers l'enraidissement et la déformation de la première colonne de la main. Cette déformation, caractéristique, associe une subluxation de la base du premier métacarpe, une hyperextension de l'articulation métacarpophalangienne et une flexion de l'articulation interphalangienne (Armbruster et Tan, 2008). La perte progressive de la fonction du pouce engendre une diminution de la force de préhension (Acheson et al., 1970). Comme pour toutes les pathologies arthrosiques, le point de départ thérapeutique est le traitement médical. Le traitement chirurgical trouve sa place en cas de résistance à un traitement médical bien conduit pendant une période d'au moins 6 mois. Le choix de la stratégie chirurgicale prend en compte plusieurs paramètres.

La trapézectomie est classiquement l'intervention de référence pour le traitement chirurgical de la rhizarthrose (Vermeulen et al., 2011). Elle permet une réduction importante de la douleur et une mobilité fonctionnelle du pouce (Salem et Davis, 2012). Cependant, la trapézectomie a ses inconvénients : elle ne corrige pas la perte de longueur du pouce, ne restaure pas la force de préhension et la récupération est longue (Ulrich-Vinther et al., 2008, Vadstrup et al., 2009).

L'arthroplastie totale de l'articulation trapézo-métacarpienne est une alternative plus récente qui a l'avantage d'avoir un temps de récupération relativement court et de maintenir la longueur du pouce (Degeorge et al., 2018 ; Jager et al., 2013). La conception des implants trapézo-métacarpiens a beaucoup évolué ces dernières années. Divers modèles sont disponibles qui incorporent différents matériaux. Les principales complications rapportées sont le descellement de la cupule et la luxation de la prothèse, avec des taux variables selon les études (Huang et al., 2015). À notre connaissance, il existe peu d'études cliniques ou biomécaniques comparant ces deux méthodes chirurgicales.

Nous collaborons avec plusieurs institutions dans cette thématique :

- Les Docteurs Sébastien Charbonnel et Frédérique Lecomte, Service de chirurgie de la main et du membre supérieur – Urgence Main Auvergne, Hôpital privé La Chataigneraie, Clermont-Ferrand.
- Le Professeur Jean-Yves Beaulieu, Unité de chirurgie de la main et des nerfs périphériques, Département de chirurgie orthopédique et traumatologie de l'appareil locomoteur, Hôpitaux Universitaire de Genève, Suisse
- Florent Moissenet, Docteur en biomécanique, Laboratoires de biomécanique (B-LAB) et d'anatomie, Université de Genève, Suisse.

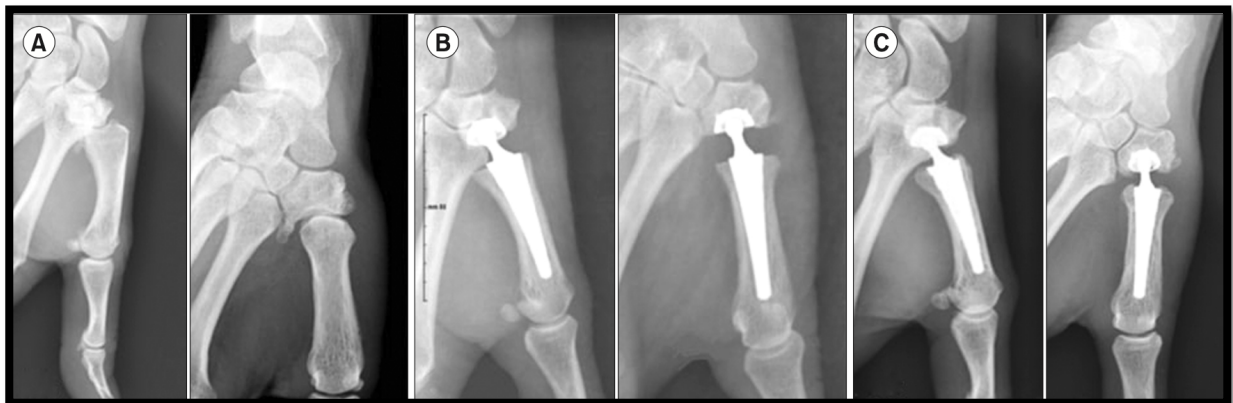
#### 5.4.1. L'arthroplastie totale trapézo-métacarpienne

Les prothèses trapézo-métacarpiennes de dernière génération sont des implants en métal, non cimenté, modulaire, recouvert d'hydroxyapatite, à quatre composants : la cupule trapéziennne de forme sphérique ou conique, la tige intramédullaire métacarpienne anatomique, le col avec la tête recouverte d'un insert en polyéthylène. Au niveau de la tête-polyéthylène-cupule, la mobilité peut être simple (polyéthylène-cupule) ou double (tête-polyéthylène et polyéthylène-cupule). Parmi ces implants, nous pouvons citer la prothèse MAIA® (Lépine, GENAY 69727, France), la prothèse MOOVIS® (Stryker, Pusignan 69330, France) et la prothèse TOUCH® (KeriMedical, Genève, Suisse). Les informations sur les résultats à moyen et à long terme de ces implants sont peu nombreuses dans la littérature (Tchurukdichien et al., 2019 ; Toffoli et Teissier, 2017).

Dans le cadre de la thèse d'exercice du Docteur Antoine Martins, j'ai supervisé la réalisation d'une étude rétrospective monocentrique qui portait sur les résultats à moyen terme de l'implant MOOVIS® chez 46 patients. Nous avons constaté de très bons résultats sur la douleur, la force de pincement et les mobilités du pouce. De même, avec cet implant à double mobilité, les taux de luxation et de descellement étaient nuls dans notre série. Ces données ont confirmé les résultats précédemment rapportés par d'autres équipes avec des taux généralement compris entre 0 et 10% pour les deux complications (Andrzejewski and Ledoux, 2019). De plus, dans le but d'affiner notre analyse radiographique sur le comportement de cette prothèse à distance, j'ai encouragé Antoine Martins à évaluer l'enfoncement de la tige métacarpienne à l'aide d'un ratio que nous avons mis en place pour l'étude. Nous avons pu démontrer que l'implant ne présentait aucun signe de migration osseuse de sa partie métacarpienne au recul moyen de 5 ans.

Dans la lignée de ce travail, j'ai guidé la Docteur Anne-charlotte Seaourt pendant la réalisation de sa thèse d'exercice sur une étude comparant les résultats de la trapézectomie avec la prothèse MAIA® à long terme. Nous avons inclus rétrospectivement 44 patients opérés d'une trapézectomie selon la même technique chirurgicale et 48 patients opérés d'une arthroplastie totale trapézo-métacarpienne avec prothèse MAIA®. Tous les patients avaient été opérés dans le même centre, par la même équipe chirurgicale. Il convenait dans un premier temps d'évaluer la comparabilité des deux groupes.

Cette dernière était présente pour l'ensemble des caractéristiques des patients, y compris pour la proportion de patients encore en activité à la révision. Plusieurs observations intéressantes ressortaient de cette étude. Premièrement, il n'y avait pas de différences significatives entre les deux groupes en termes d'efficacité sur la douleur et de mobilités actives du pouce. Néanmoins, nous avons noté une force de pincement pouce-index (dit "Key Pinch") significativement meilleur chez les patients porteurs d'une prothèse (+40 %). Devant cette constatation, j'ai proposé à Anne-charlotte Seaourt d'introduire le score de performance au travail au Michigan Hand Questionnaire. Ce dernier s'est avéré être significativement meilleur dans le groupe prothèse, reflétant ainsi la donnée sur le Key Pinch. Sachant que le Key Pinch est dépendant de la longueur de la colonne du pouce, nous avons évalué cet élément sur les radiographies préopératoires et celles à la révision. Notre analyse a confirmé que la longueur de la colonne du pouce était significativement inférieure dans le groupe trapézectomie. En affinant l'évaluation radiographique, il en est ressorti que le premier métacarpe reculait systématiquement de l'ordre de 0,3 mm par an jusqu'au contact entre la base de celui-ci et le pied du scaphoïde. À ce stade, des douleurs peuvent réapparaître (3 cas sur 44) ainsi qu'une hyperextension de l'articulation métacarpophalangienne symptomatique (2 cas réopérés sur 44). Par ailleurs, dans le groupe prothèse, nous n'avons retrouvé aucune luxation, descellement ou enfoncement de prothèse, confirmant ainsi les données de notre précédente étude sur les MOOVIS®.



**Figure 31.** (A) - Radiographies d'un pouce droit atteint d'une rhizarthrose avancée. (B) - Radiographies immédiatement après implantation d'une prothèse MAIA®. (C) - Radiographies à 10 ans de recul.



*Figure 32. Radiographies montrant un cas de conflit scaphométacarpien à 9 ans de recul après trapéctomie.*

Pour finir, notre comparaison s'est portée sur les suites postopératoires. À l'instar des données de la littérature, les patients du groupe prothèse ont eu un temps de récupération (retour aux activités quotidiennes, durée d'immobilisation, durée d'arrêt de travail) écourté d'environ 6 semaines avec la nécessité de moins de kinésithérapie.

#### 5.4.2. Contribution à l'évaluation biomécanique

Les résultats retrouvés dans nos deux études cliniques rétrospectives ont fait émerger quatre questions :

- Y a-t-il un repère radiographique permettant d'optimiser le centrage de la cupule dans le trapèze afin de réduire au minimum son risque de descellement ?
- Le Key Pinch a-t-elle une meilleure valeur avec une prothèse et quelle en est l'explication mécanique ?
- Quelles forces sont transmises à l'articulation trapézo-métacarpienne lors du Key Pinch ?
- Existe-t-il une migration de la cupule trapézienne lors de la mise en contrainte axiale ?

Ces interrogations ont permis de définir les axes de recherche menés au cours de mon année à l'Université de Genève en tant que « research fellow ».

Dans le cadre du SIR de Lucille Auberson, j'ai proposé de travailler sur l'identification en radiographie standard de la solution la plus cohérente, d'un point de vue du support osseux médio-latéral de trapèze, pour centrer la cupule prothétique. Après une phase de recherche bibliographique et de réflexion, nous avons émis l'hypothèse que le milieu de la surface articulaire distale du trapèze ne correspond pas au milieu de la largeur du trapèze.

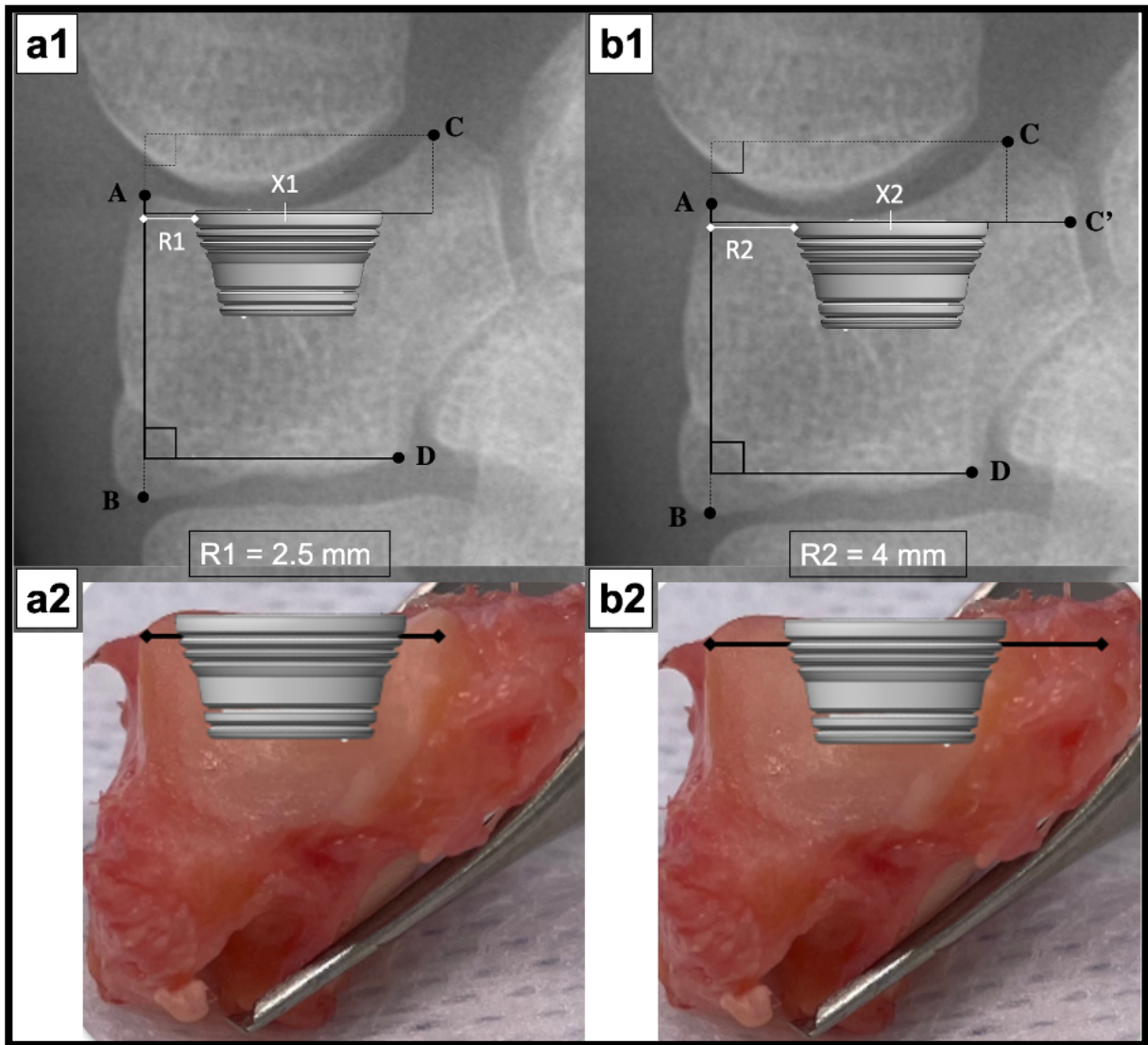
Nous avons effectué une revue rétrospective de radiographies standards de face et de profil du pouce chez 80 patients, afin de comparer deux repères radiographiques et d'identifier la solution la plus cohérente, d'un point de vue du support osseux médio-latéral, pour le centrage de la cupule trapézienne dans l'arthroplastie totale trapézo-métacarpienne. Sur les radiographies de face, nous avons identifié deux distances, la surface articulaire distale du trapèze et la largeur du trapèze. À ce stade, la difficulté que nous avons rencontrée était de définir précisément les points remarquables correspondant aux limites de ces deux distances radiographiques. L'objectif était la reproductibilité de mesure d'un trapèze à l'autre. Dans le même but, nous avons réalisé une analyse avec deux observateurs indépendants.

Ensuite, nous avons défini deux repères radiographiques au milieu de ces distances permettant de simuler le positionnement centré d'une cupule trapézienne de 9 mm de diamètre. Avec Lucille Auberson, nous avons travaillé sur la conception infographique d'un calque aux dimensions exactes d'un implant trapézien pouvant être superposé au niveau de nos deux repères.

Ainsi, les supports osseux restant de part et d'autre de la cupule, en particulier du côté radial du trapèze, ont pu être calculés.

Plusieurs données ont été mises en évidence. D'une part, la largeur du trapèze avait une valeur significativement plus élevée que la surface articulaire distale du trapèze, et leurs milieux ne correspondaient pas. D'autre part, après positionnement des calques de cupules prothétiques au milieu de chaque repère, la distance osseuse résiduelle radiale était significativement plus élevée en utilisant le repère basé sur la largeur du trapèze. La valeur moyenne était 33% plus élevée avec ce repère radiographique et sa valeur minimale était de 2.1 mm alors qu'elle était de 0.2 mm en utilisant le repère basé sur la surface articulaire distale. Par ces résultats, nous suggérons que le milieu de la largeur du trapèze est le repère radiographique le plus cohérent pour centrer la cupule prothétique trapézienne lors d'une arthroplastie totale trapézo-métacarpienne, en préservant un meilleur stock osseux du côté radial sans épuiser le côté ulnaire. Cette étude représente un intérêt clinique évident ; en effectuant une vue peropératoire de face avec la fluoroscopie, le repère proposé peut être utilisé pour vérifier le bon positionnement de la cupule. La pertinence de cette donnée est appuyée par l'importance soulignée par de nombreux auteurs, d'un bon positionnement de la cupule afin de minimiser le risque de descellement (Lussiez, 2011 ; Spartacus et al., 2017). Ces auteurs suggèrent la nécessité d'avoir un support osseux satisfaisant de chaque côté de la cupule permettant une meilleure ostéointégration.





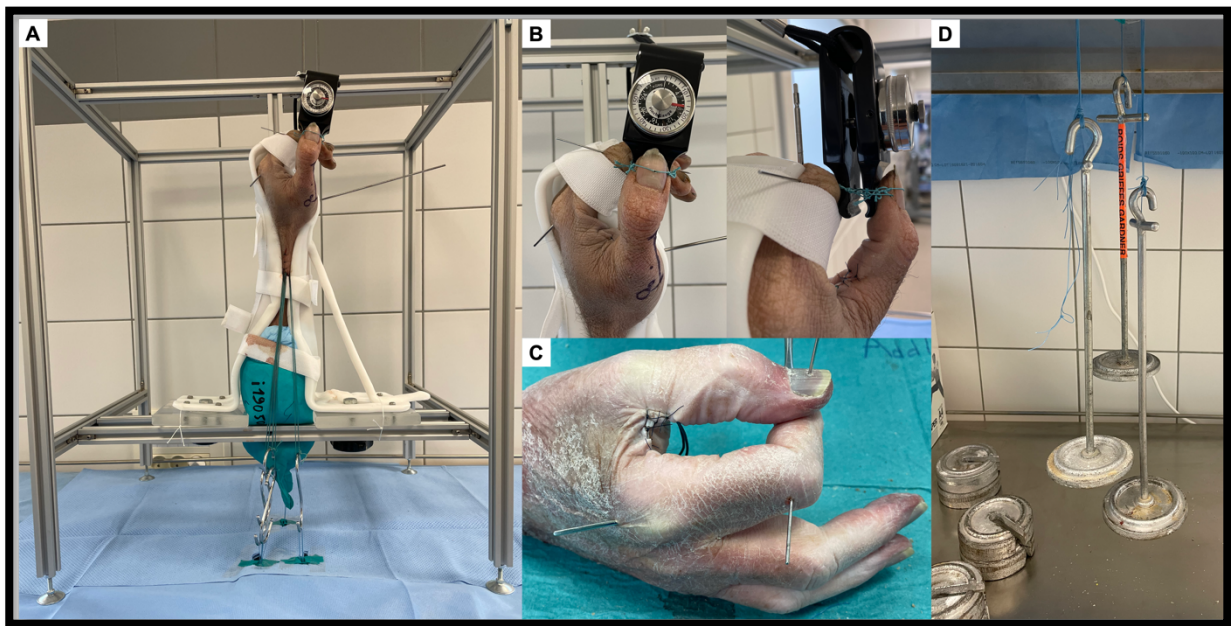
**Figure 33.** Radiographies de face centrées sur l'os Trapèze (a1 et b1) et leurs correspondances anatomiques sur os cadavériques (a2 et b2). Positionnement simulé d'une cupule prothétique en utilisant le milieu de la surface articulaire distale du Trapèze (AC et X1) et le milieu de la largeur du Trapèze (AC' et X2). Les distances entre leurs extrémités radiales respectives et le bord radial du Trapèze ont été mesurées. Elles correspondent à la distance osseuse radiale résiduelle après positionnement du diamètre simulé de la cupule, avec les deux repères de centrage (R1 et R2).

La force de Key Pinch est un élément important de la fonction de la main (Cooney et al., 1985). Sa mesure est fréquemment utilisée pour évaluer l'efficacité du traitement chirurgical de l'arthrose trapézo-métacarpienne.

Le travail de thèse de la Docteur Anne-charlotte Seaourt a permis de mettre en évidence une meilleure force de Key Pinch chez les patients ayant reçu une prothèse. Ces résultats corroborent les études publiées comparant les résultats de la trapézectomie et de l'arthroplastie totale dans lesquels une force plus élevée a été mesurée chez les patients du groupe prothèse : +17% pour Thorkildsen et Rokkum (2019) ; +15% pour De Smet et al. (2004) ; +50% pour Ulrich-Vinther et al. (2008) ; +50% Jager et al. (2013) ; et +41 % pour Robles-Molina et al. (2017). Cependant, peu d'études biomécaniques ont été réalisées pour comparer expérimentalement ces méthodes chirurgicales.

Dans le cadre du SIR de la Docteur Marie Martel, nous avons cherché à évaluer et à comparer les charges tendineuses nécessaires pour générer une force de Key Pinch de plus en plus importante après trapézectomie versus après prothèse TOUCH®. Notre hypothèse était que l'arthroplastie totale de l'articulation trapézo-métacarpienne peut nécessiter des forces tendineuses plus faibles pour effectuer un Key Pinch, car les bras de levier musculaires des muscles traversant la colonne du pouce sont susceptibles d'être moins altérés. Nous avons ainsi réalisé une étude cadavérique utilisant 18 membres d'adultes. Deux difficultés sont rapidement apparues dans le protocole d'étude : Comment stabiliser le membre supérieur à la verticale afin de pouvoir appliquer des poids sur les tendons des muscles actionneurs impliqués lors d'un Key Pinch ? Comment mesurer de manière reproductible la force de Key Pinch générée par la charge tendineuse induite ? Afin de répondre à la première question, nous avons grâce à l'équipe technique du laboratoire d'anatomie de l'Université de Genève fabriqué une station dédiée, en aluminium, modulable selon la taille du spécimen. Puis, afin de positionner chacun des membres supérieurs dans une position de référence, nous avons confectionné, avec l'aide de l'équipe d'ergothérapeutes de l'unité de chirurgie de la main des Hôpitaux Universitaires de Genève, des orthèses thermoformées parfaitement moulées sur les membres (Aquaplast-T™ 3.2 mm splint, Rolyan®, Performance Health International Ltd, Sutton-in-Ashfield, UK). La réponse à la deuxième question a été rapidement élucidée par l'utilisation d'une jauge à Key Pinch couramment utilisée en pratique clinique (B&L Engineering®, Santa Ana, CA, USA). À ce stade, nous étions capables avec Marie Martel, de générer une force de Key Pinch en appliquant des poids par incrément de 0,5 kg sur les tendons ciblés. Toutefois, il était indispensable de définir notre plage de forces visée.

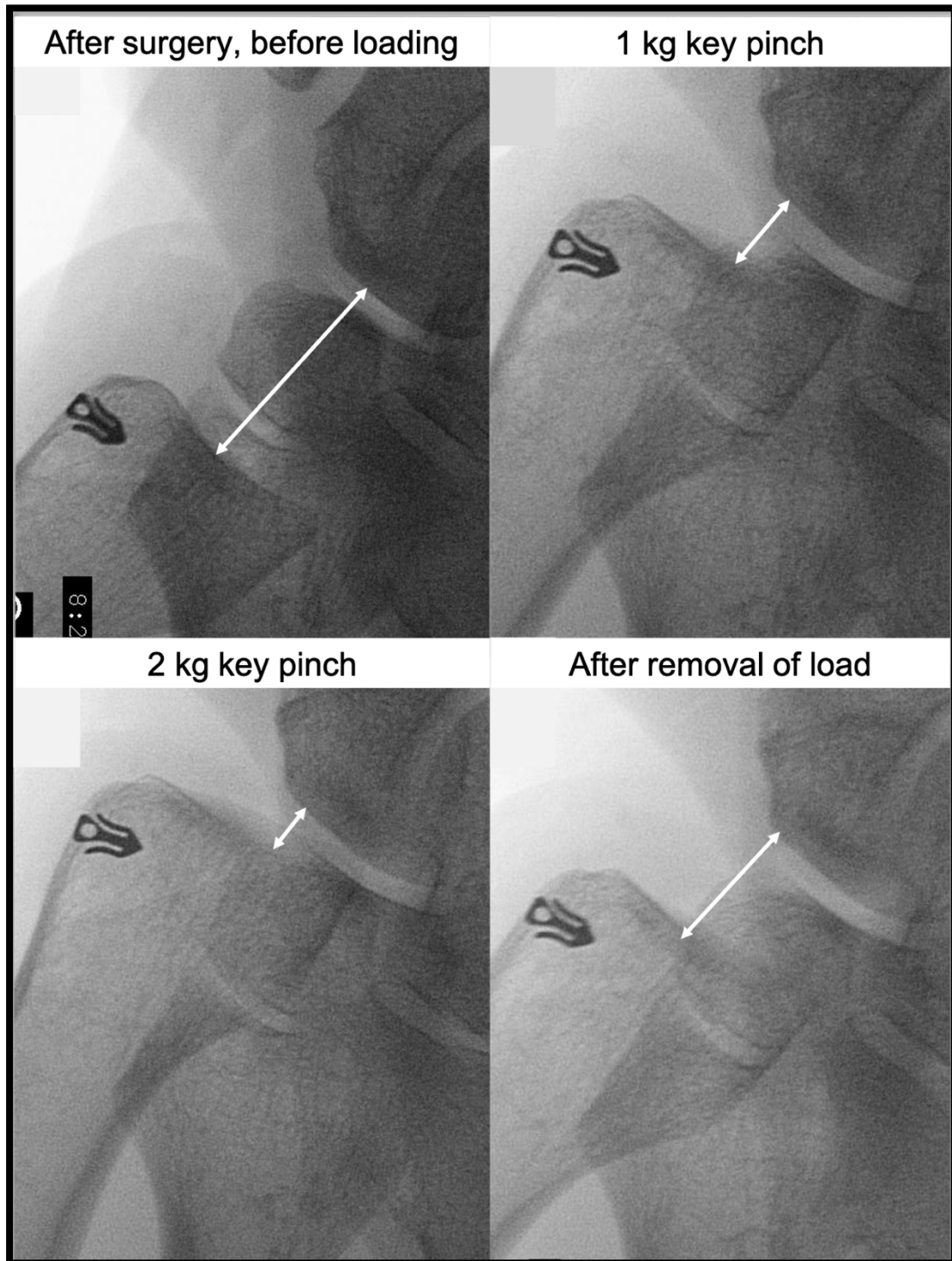
Après analyse de la littérature, plusieurs études ont souligné que les exigences de force de Key Pinch variaient entre 0.1 kg pour appuyer sur un bouton de télécommande à 2 kg pour insérer une fiche dans une prise, et que 75% des tâches fonctionnelles habituelles nécessitaient moins de 1 kg (Smaby et al., 2004). De ce fait, nous avons souhaité générer une force progressivement croissante de 0,5 kg à 2 kg.



*Figure 34. Photographies illustrant le protocole de l'étude. (A) - L'échantillon a été monté verticalement dans un banc d'essai conçu sur mesure pour le stabiliser et pour faciliter le chargement du tendon. (B) - Pour évaluer la force de pincement, une jauge graduée a été fixée au niveau de la pulpe du pouce et de la face latérale de l'extrémité distale de l'index. (C) - La position des articulations métacarpophalangienne et interphalangienne de l'index a été ajustée et fixée avec deux broches pour obtenir un Key Pinch optimal. (D) - La force de pincement a été simulée en chargeant les tendons des trois actionneurs musculo-tendineux du Key Pinch, grâce à des poids appliqués sur des crochets métalliques.*

Les données que nous avons recueillies ont confirmé notre hypothèse ; les spécimens ayant subi une trapézectomie nécessitaient des charges tendineuses significativement plus élevées que ceux avec l'implant prothétique pour obtenir le même niveau de force. Cette information appuie les résultats des études cliniques, y compris celle avec la Docteur Anne-charlotte Seaourt, sur la meilleure force de Key Pinch après prothèse. Cherchant à trouver l'explication biomécanique à cette différence, une analyse radiographique a été réalisée durant toute l'expérimentation. Dans le groupe prothèse, aucun signe d'affaissement de l'implant n'a été retrouvé permettant le maintien de la longueur de la colonne du pouce.

À l'inverse, dans le groupe trapézectomie, une diminution significative de la hauteur de la cavité trapézienne (ou recul du métacarpe) a été trouvée à partir de 1 kg de force. Ceci confirme la perte de hauteur de la colonne du pouce après trapézectomie que nous avons constaté avec Anne-charlotte Seaourt lors de l'étude comparative MAIA® vs trapézectomie.



*Figure 35. Radiographies montrant le recul du premier métacarpe après trapézectomie, lors d'une force de pincement du pouce progressivement croissante.*

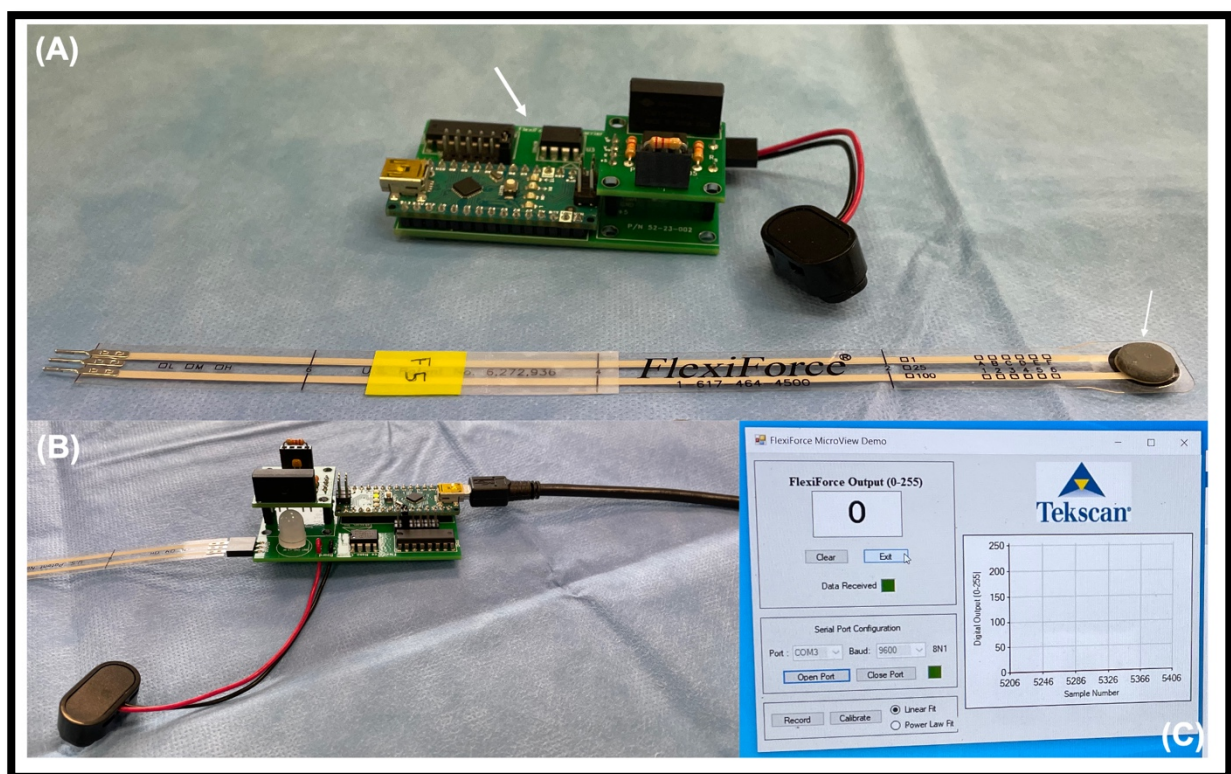
À notre connaissance, aucune étude expérimentale n'a mesuré directement les charges axiales dans l'articulation trapézo-métacarpienne lors d'une force de pincement de référence de 1 kg (Smaby et al., 2004). Pourtant, la charge mécanique transmise à cette articulation lors de l'utilisation quotidienne répétitive du pouce a été identifiée comme facteur de risque de développement d'arthrose sur une articulation native puis de descellement de la cupule trapézienne après prothèse trapézo-métacarpienne (Bozentka, 2010 ; Kalichman et Hernández-Molina, 2010).

En utilisant un modèle musculo-squelettique 3D avec des équivalents mécaniques attribués au système anatomique du pouce, Cooney et Chao (1977) ont déterminé que les forces de compression axiales agissant sur l'articulation trapézo-métacarpienne étaient en moyenne de 12 kg pour une force de pincement de 1 kg. Ces contraintes élevées seraient un précurseur significatif de la dégénérescence articulaire sur une articulation native. Dans les suites d'une arthroplastie, elles pourraient augmenter le risque de migration de la cupule trapézienne. Cependant, l'approche fondamentale de Cooney et Chao (1977) n'a pas été validée par des mesures expérimentales.

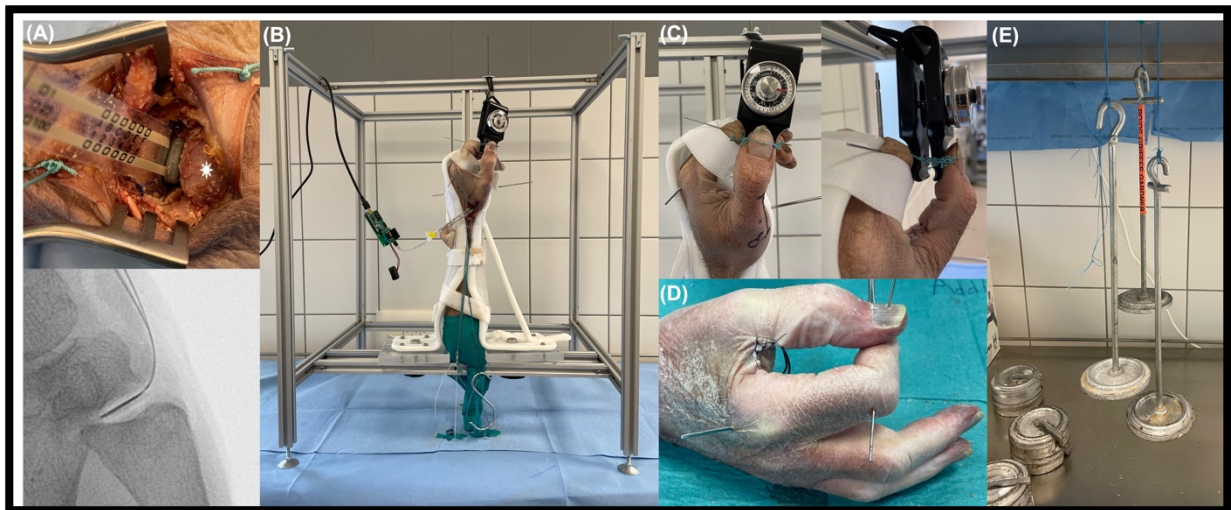
Dans le cadre du Master 2 de Mariette Bergère, en association avec Damien Motte, ingénieur en mécanique et matériaux, chef de projet Recherche & Développement chez KeriMedical, nous avons émis deux hypothèses conduisant à deux études expérimentales. Nous avons suggéré que la charge articulaire maximale lors d'une force de pincement de 1 kg est inférieure aux forces estimées par Cooney et Chao (1977). D'autre part, que l'ancrage de la cupule est faiblement affecté, du point de vue de la migration axiale, par des forces de compression de plusieurs dizaines de kilogrammes. À travers une première étude cadavérique, nous avons cherché à mesurer directement au niveau de l'articulation trapézo-métacarpienne, la charge agissant pour des forces de pincement allant de 0,5 kg à 1,5 kg. Pour ce faire, le protocole d'installation du membre cadavérique et de simulation d'une force de pincement était identique à celui de l'étude comparative sur le Key Pinch. Toutefois, une difficulté majeure a été rencontrée ; le moyen mécanique pour enregistrer et quantifier la charge articulaire. Après de multiples essais avec Mariette Bergère et Damien Motte, nous avons opté pour le capteur de force de type « force sensing resistor » FlexiForce™ sensor (Tekscan®, Inc., États-unis). Une autre difficulté est apparue, le conditionnement et la calibration du capteur. En raison de son comportement viscoélastique, la zone sensible à la pression du capteur doit être conditionnée avant toute mesure.



Suivant les recommandations du fabricant, nous avons pu établir un protocole de conditionnement afin d'avoir de la reproductibilité pour chacune des mesures enregistrées. Par ailleurs, le système de mesure par capteur délivre un signal numérique qui est lu en temps réel sur un ordinateur. Un étalonnage a donc été nécessaire pour faire correspondre le signal numérique avec une force en kg. Ces différentes phases ont rendu possible la réalisation de deux enregistrements consécutifs de mesure sur chacun de nos 10 sujets anatomiques. Des valeurs de charges similaires ont été observées au cours des deux essais. Nos résultats ont montré des charges articulaires de 2 kg, 3 kg et 4 kg pour des forces de pincement respectives de 0,5 kg, 1 kg et 1,5 kg. Ces données sont capitales, car les charges mesurées directement dans l'articulation se sont avérées être sensiblement inférieures à celles estimées dans les modèles mathématiques biomécaniques du pouce. Ceci est probablement en grande partie liée à la variabilité inter-sujets, très difficilement accessible à une estimation mathématique.



**Figure 36.** Photographies du kit prototype Tekscan® FlexiForce™. (A) - La flèche fine pointe indique le capteur FlexiForce™A201-1 avec la zone sensible à la pression et les concentrateurs de charge fixés des deux côtés. La flèche épaisse pointe indique la carte FlexiForce™ avec un connecteur spécifique pour brancher le capteur, et un port USB pour se connecter à un ordinateur (B). (C) - Le programme logiciel open source est conçu spécifiquement pour faciliter le processus d'intégration des capteurs.

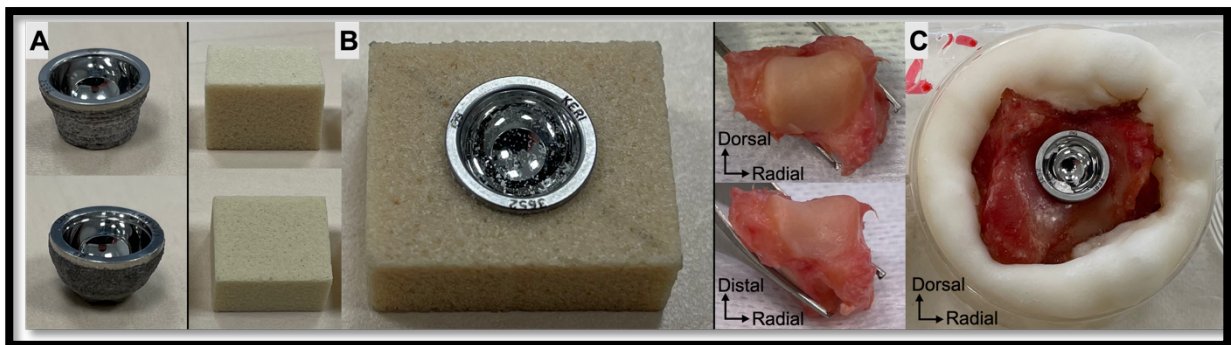


*Figure 37. Photographies illustrant le protocole de l'étude. (A) - Après avoir effectué une capsulotomie en forme de H de l'articulation trapézo-métacarpienne, le capteur de force Tekscan FlexiForce™ a été introduit et stabilisé à l'intérieur de l'articulation (la base du métacarpien du pouce est indiquée par un astérisque). Son placement correct au centre de l'articulation a été confirmé par des radiographies. (B) – Le membre a été monté verticalement sur un banc d'essai conçu sur mesure afin de le stabiliser et de faciliter le chargement des tendons. (C) - Pour évaluer la force de pincement du pouce, une jauge graduée a été fixée au à la pulpe du pouce et à la face latérale de l'extrémité distale de l'index. (D) - La position des articulations métacarpophalangienne et interphalangienne de l'index ont été ajustées et fixées avec deux broches pour obtenir un Key Pinch optimal. (E) – La force de pincement a été simulée en chargeant les tendons actionneurs du Key Pinch avec des poids appliqués sur des crochets métalliques.*

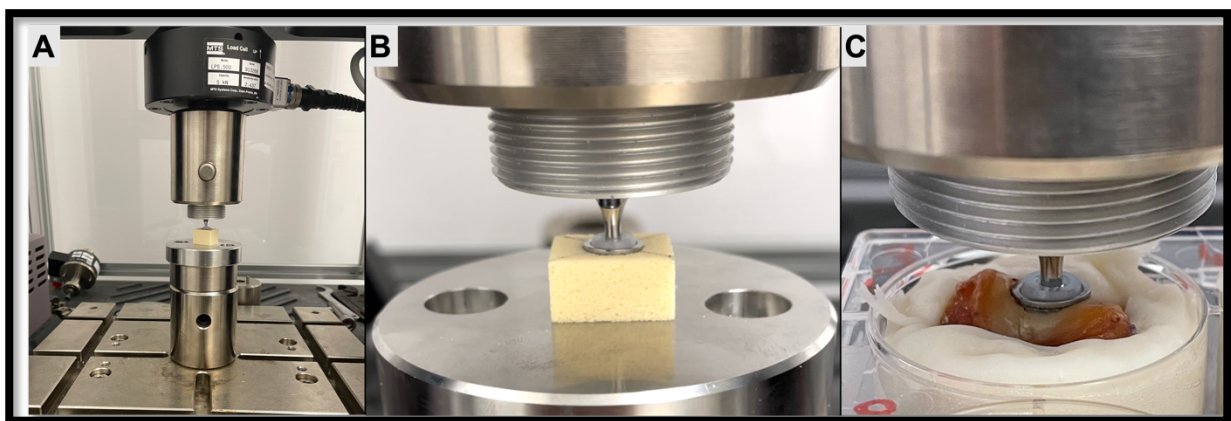
Grâce à une seconde étude biomécanique, nous avons évalué la migration de la cupule prothétique trapézienne pour des charges de compression de 10 à 40 kg, en utilisant un modèle d'os composite artificiel (Sawbones® Europe AB, Malmö, Sweden) et des trapèzes cadavériques. Nous avons pu faire nos expérimentations sur des blocs Sawbones® de deux densités simulées (ostéoporotiques et non ostéoporotiques) puis sur des trapèzes de sujets d'âges différents (49 à 90 ans). Rapidement, il a fallu définir les dimensions des blocs afin de faire correspondre au volume moyen d'un os trapèze. Nous nous sommes fiés aux résultats d'études précédemment publiées (Loisel et al., 2015).

L'ensemble des tests de compression ont été effectués à l'aide d'un banc d'essai électromécanique MTS Criterion® série 40 (MTS Systems Corporation, Eden Prairie, MN, USA). La calibration a pu être réalisée par Mariette Bergère, avec une précision de mesure du déplacement axial de 0,1 mm. Plusieurs observations intéressantes ressortaient de cette étude.

Premièrement, nos résultats indiquent que la cupule subit de très faibles migrations pour des charges allant jusqu'à 40 kg, de l'ordre de 0,1 à 0,5 mm, vraisemblablement en dessous du seuil de pertinence clinique. Ensuite, une faible densité minérale osseuse, représentée par les blocs ostéoporotiques, peut entraîner une plus grande migration de la cupule. Toutefois, l'ensemble des trapèzes cadavériques se sont comportés selon le même profil mécanique que celui des blocs de densité non ostéoporotiques. Avec une large tranche d'âge des cadavres, on peut supposer que la densité minérale osseuse variait d'un spécimen à l'autre. Ceci confirme l'importance du support osseux sous-chondral dans l'ancrage de la cupule.

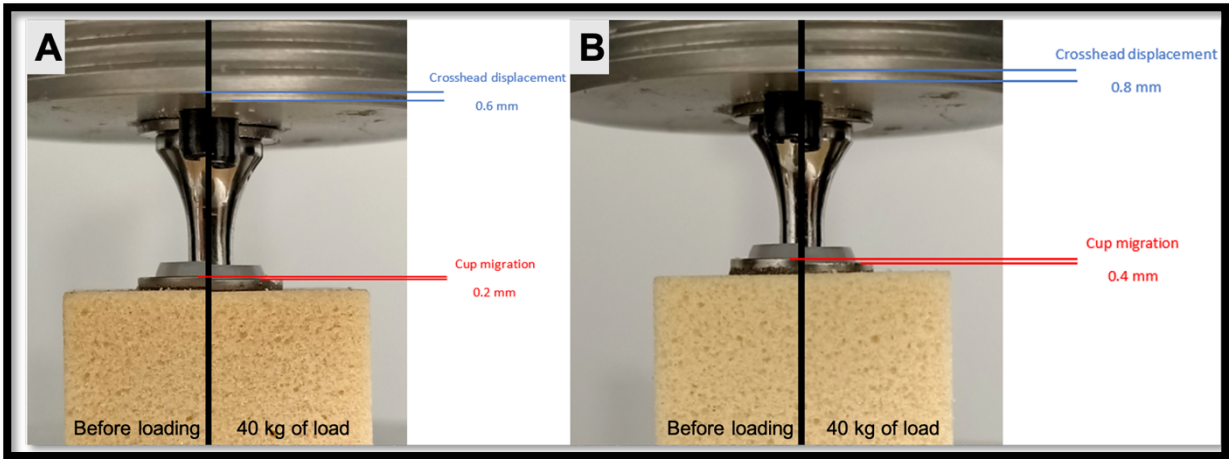


*Figure 38. Photographies des cupules trapéziennes conique et sphérique de 9 mm de la prothèse Touch® (A), de la préparation des blocs de mousse rigide Sawbones® (B) et des os de Trapèzes cadavériques (C).*



*Figure 39. Montage expérimental. Des tests de compression uniaxiale (jusqu'à 40 kg) ont été effectués à l'aide d'un système de test électromécanique MTS Criterion® série 40 (A) sur les blocs de mousse rigide Sawbones® (B) et les os de Trapèzes cadavériques (C).*





*Figure 40. Photographies montrant des exemples de migration de cupule dans des blocs Sawbones® non ostéoporotiques (A) et ostéoporotiques (B) pour une charge appliquée de 40 kg.*

### 5.4.3. Bilan de la recherche dans la thématique rhizarthrose

Les connaissances sur l'articulation trapézo-métacarpienne et l'arthroplastie prothétique ont été améliorées par les travaux réalisés. Ceci a un impact potentiel sur la prise en charge chirurgicale des patients porteurs d'une rhizarthrose invalidante.

Les résultats de nos études rétrospectives ont permis de montrer que la trapézectomie et la prothèse trapézo-métacarpienne représentaient deux options chirurgicales efficaces à moyen et long terme. Les implants de dernière génération ont montré leur efficacité sur le plan de l'amélioration des symptômes, leur fiabilité sur le plan de l'absence de complication et la présence d'une stabilité intra-osseuse dans le temps. Les avantages positionnant la prothèse comme alternative valable à la trapézectomie, technique considérée comme référence dans de nombreux pays anglo-saxons, se sont révélés lors de nos travaux. Ils sont représentés par une durée de convalescence réduite et une force de pincement améliorée par le maintien de la longueur du pouce dans le temps.

La deuxième partie de la recherche sur cette thématique nous a permis d'agrémenter ces données. En effet, en utilisant le modèle cadavérique, la prothèse trapézo-métacarpienne a présenté un profil biomécanique supérieur dans lequel les charges tendineuses nécessaires pour atteindre une force de pincement donnée sont plus faibles par rapport à la trapézectomie. L'absence de maintien de la longueur de la colonne du pouce secondaire au recul du premier métacarpe après excision du trapèze est apparue comme la cause principale expliquant cette différence. De plus, nous avons réussi par une approche expérimentale à mesurer directement la charge à l'intérieur de l'articulation trapézo-métacarpienne lors d'une force de pincement de référence. Avec des valeurs enregistrées sensiblement inférieures à celles estimées par le modèle de Cooney et Chao (1977), cette étude a souligné le rôle mécanique non négligeable de la variabilité inter-individuelle, non prédictible par des modèles biomécaniques du pouce. Cette étude pilote pourra servir de base à d'autres études, par exemple en comparant des modèles biomécaniques du pouce et des mesures expérimentales dans les mêmes conditions d'installation.

Enfin, nous avons consacré deux études, clinique et biomécanique, portant sur les facteurs de risque de descellement d'implant. Cette complication apparaît dans la littérature comme la plus péjorative pour la survie de la prothèse à long terme. Les taux sont variables et les causes multiples. D'une part, nos travaux ont montré que la charge mécanique axiale, souvent mise en avant par de nombreux auteurs, n'était pas un facteur aussi prépondérant. Si l'on considère nos résultats indiquant une charge de 3 kg au niveau de l'articulation trapézo-métacarpienne lors d'une force de pincement de référence, lors d'une charge de compression axiale multipliée par 10, nous n'avons pas observé de migration cliniquement pertinente de l'implant trapézien.

Par ailleurs, la définition du repère radiographique le plus cohérent pour optimiser le positionnement de la cupule au centre du trapèze, permet de contrôler au mieux un autre facteur de risque, celui du déséquilibre du stock osseux de part et d'autre de l'implant.

Malgré tout, une des principales limites à indiquer est le fait que les résultats d'une étude sur cadavre ne sont pas directement transposables à la pratique clinique. En effet, il n'est pas possible de prédire avec exactitude les effets des mouvements de charge quotidiens et répétitifs du pouce. De même, en utilisant un support cadavérique, nous n'avons pas la possibilité d'évaluer dans quelle mesure la cicatrisation des tissus mous intervient dans les résultats d'une chirurgie pour rhizarthrose. Des études cliniques supplémentaires à long terme, avec un échantillon suffisamment important, sont nécessaires pour confirmer nos résultats.

## 5.5. LES PARALYSIES DU PLEXUS BRACHIAL

### Encadrements :

#### Thèse d'exercice : Dr. Romain Detammaecker

- Réanimation du deltoïde par transfert nerveux d'une branche motrice du triceps sur le nerf axillaire.
  - Soutenue le 10 novembre 2017
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : Article en cours de révision dans *Journal Hand Surgery European Volume*.

#### Thèse d'exercice : Dr. Hugo Maschino

- Réanimation du muscle supinateur par transfert nerveux d'une branche motrice du rond pronateur sur le nerf radial.
  - Soutenue le 15 octobre 2018
  - Encadrement à 75 %
  - Publication associée : Article en cours de révision dans *Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery*.

Les traumatismes du plexus brachial sont les plus sévères de toutes les lésions des nerfs périphériques. Les paralysies traumatiques du plexus brachial de l'adulte touchent essentiellement le sujet jeune de 20 à 30 ans victime d'un traumatisme violent. Les lésions sont graves, entraînant des séquelles importantes du membre supérieur. Il s'agit dans 90% des cas d'accident de moto. La fréquence de ces paralysies est en diminution en France, mais elle reste élevée dans les pays asiatiques (Midha, 1997). Le mécanisme lésionnel correspondant à un étirement des nerfs du plexus brachial pouvant aboutir à deux types de lésions : l'avulsion (arrachement des racines de la moelle) ou la rupture nerveuse (le nerf est interrompu entre la racine et les branches terminales réalisant le plus souvent un névrome en continuité) (Leffert, 2002). L'exploration et le traitement relèvent d'une prise en charge spécialisée multidisciplinaire médico-chirurgicale. Le but fondamental est d'établir un diagnostic exact et précoce, et ensuite de tenter d'améliorer le pronostic. Le traitement chirurgical des paralysies du plexus brachial reste difficile. Les résultats de cette chirurgie restent imprévisibles, permettant une récupération souvent modeste, limitée à la stabilisation de l'épaule et à la flexion du coude et parfois au rétablissement d'une sensibilité protectrice de la main dans les plexus totaux. Dans les plexus partiels, une récupération meilleure peut être envisagée.

Des publications récentes mettent en évidence le rôle primordial du délai préopératoire (inférieur à 6 mois) dans la récupération. La chirurgie nerveuse est réservée au plexus récent, inférieur à 12 mois. Les progrès récents de cette chirurgie, une meilleure connaissance des lésions anatomopathologiques et des techniques d'exploration préopératoire plus précises ont permis une meilleure prise en charge (Millesi, 1977 ; Narakas, 1985 ; Oberlin, 2003).

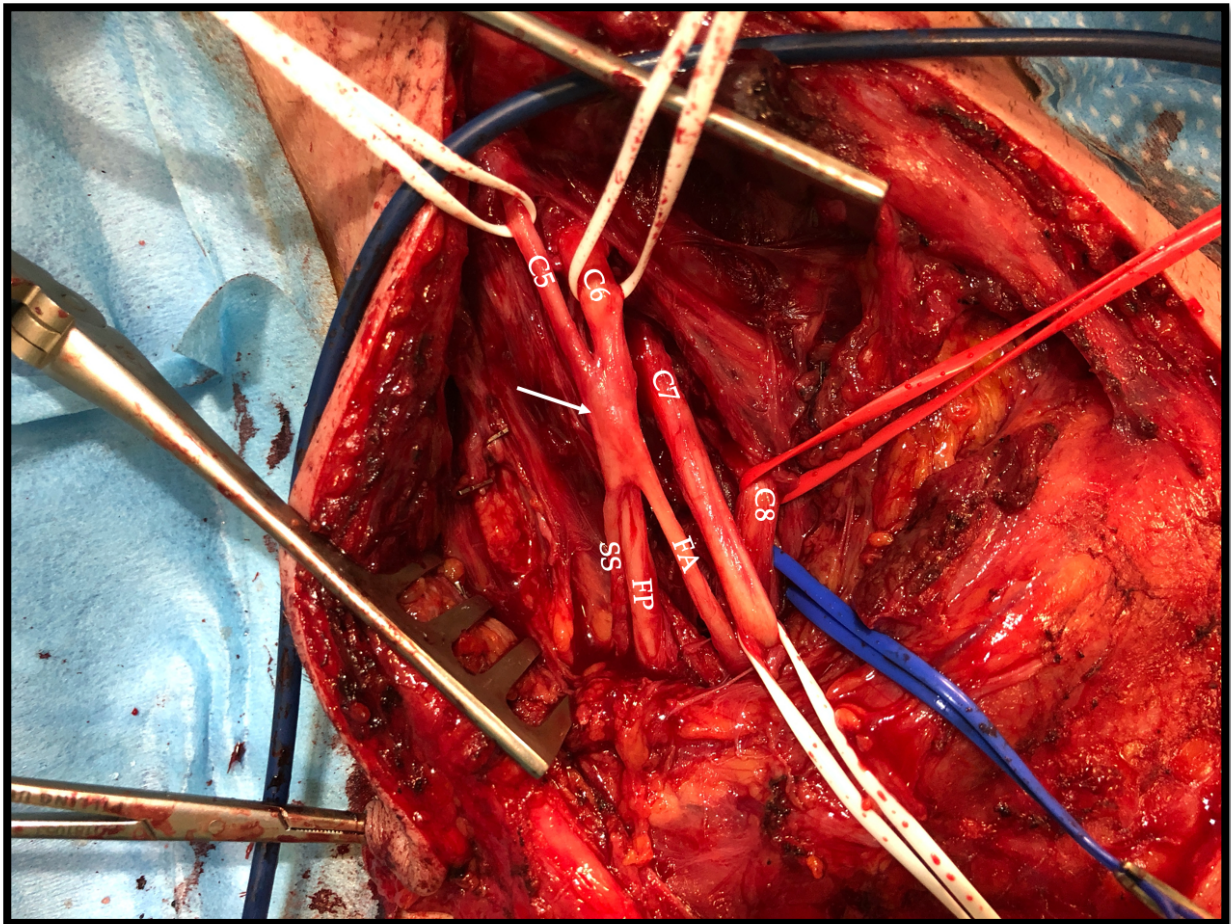
Nous travaillons en collaboration sur cette thématique avec plusieurs institutions :

- Le service d'imagerie Guilloz (CHRU de Nancy),
- Le service de Médecine Physique et de Réadaptation Fonctionnelle (Institut Régional de Réadaptation de Nancy),
- Le département d'Anatomie de la Faculté de médecine de Nancy (Université de Lorraine).

### 5.5.1. Neurotisations ou transferts nerveux

Au cours des deux dernières décennies, les transferts nerveux ou neurotisations ont révolutionné la prise en charge des lésions traumatiques du plexus brachial notamment lorsqu'il s'agit d'atteinte partielle, en particulier les paralysies supérieures C5 C6 (épaule et flexion du coude) (Forli et al., 2017). On isolera la paralysie traumatique du nerf axillaire après luxation d'épaule qui est une forme clinique à part entière, avec atteinte isolée de l'épaule (Goubier et al., 2004 ; Rezzouk et al., 2003). Dans tous les cas, ces transferts utilisent des nerfs donneurs moteurs non concernés par la lésion nerveuse pour venir réanimer sélectivement le muscle déficitaire et/ou le muscle majoritairement sollicité lors de la fonction déficitaire (Witoonchart et al., 2003).

L'atteinte plexique C5 C6 est responsable d'une paralysie du nerf axillaire (Midha, 1997). Ce nerf innerve les muscles Deltoïde et Teres Minor qui interviennent dans la stabilité de l'articulation gléno-humérale ainsi que dans l'abduction – élévation de l'épaule et la rotation externe du bras (Tubbs et al., 2001). Les lésions du nerf axillaire sont estimées entre 10 et 20% de l'ensemble des atteintes du plexus brachial traumatique (Safran, 2004). Ces lésions nerveuses sont également rencontrées, de manière isolée, dans les luxations antérieures gléno-humérales (Robinson et al., 2012). Dans tous les cas, ces atteintes affectent sévèrement la vie quotidienne des patients, d'autant plus lorsqu'elles sont associées à un déficit de flexion du coude dans le cadre d'une paralysie C5 C6 (Terzis et Kostopoulos, 2007).

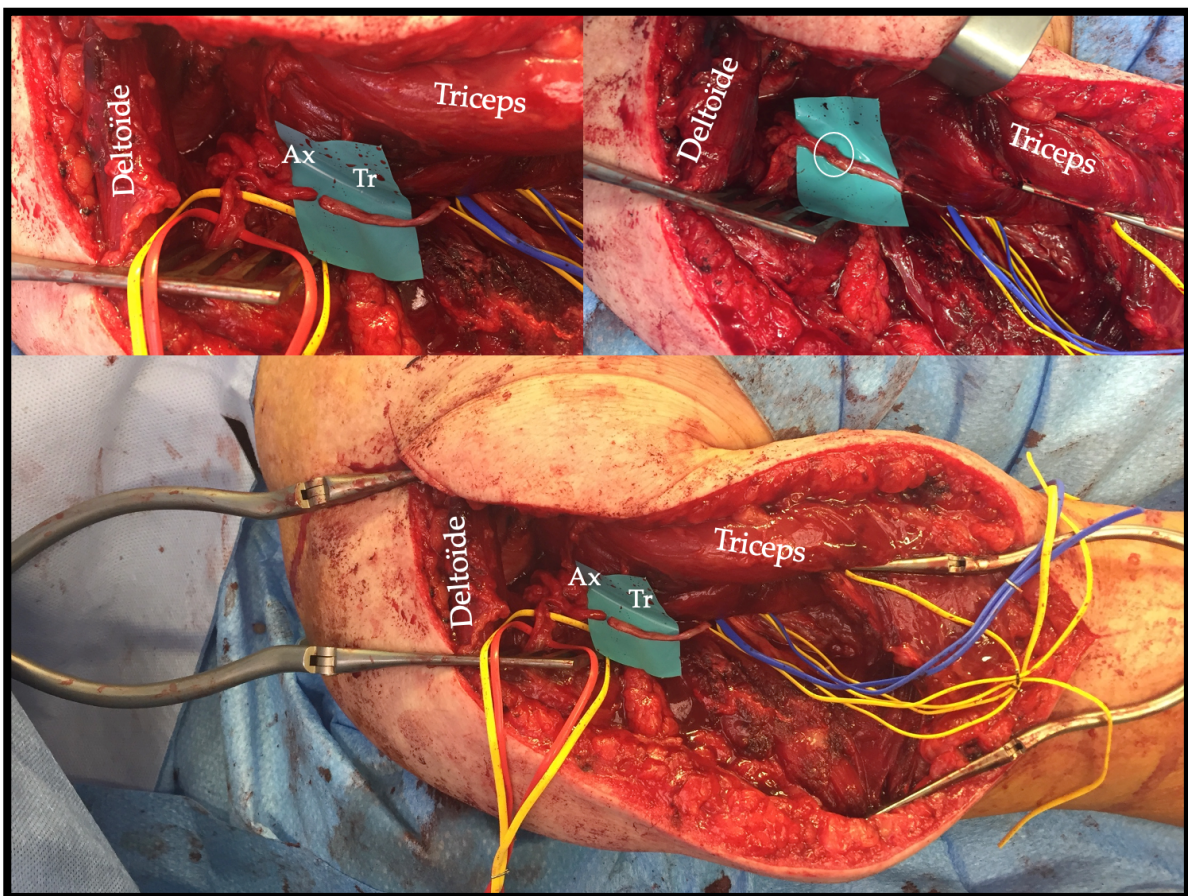


*Figure 41. Photographie peropératoire d'un abord sus-claviculaire du plexus brachial droit. On individualise la fusion des racines C5 et C6 en tronc primaire supérieur, l'émergence du nerf supra-scapulaire (SS) puis, la division du tronc primaire supérieur en faisceaux antérieur (FA) et postérieur (FP). Au niveau du tronc primaire supérieur, on retrouve un névrome en continuité (flèche) confirmant la lésion traumatique par rupture nerveuse, responsable de la paralysie plexique C5C6.*

La réanimation du muscle Deltoïde peut faire appel aux techniques de neurotisations. Parmi ces dernières, le transfert d'une branche motrice du nerf du Triceps Brachial sur le nerf axillaire, décrit par Leechavengongs et al. (2003, 2016), est considéré comme une technique de référence. Son but est de pouvoir restaurer une abduction et une élévation antérieure de l'épaule fonctionnelles. Plusieurs études ont déjà montré l'efficacité de cette neurotisation. Toutefois, dans la majorité des cas, l'étiologie de la paralysie du muscle Deltoïde est seulement en rapport avec une atteinte plexique C5 C6, excluant la lésion isolée du nerf axillaire (Bertelli et al., 2014 ; Belkheyar et al., 2009 ; Chim et al., 2015 ; Miyamoto et al., 2014 ; Wheelock et al., 2015).



Afin d'évaluer nos résultats cliniques à moyen terme de cette technique chirurgicale, j'ai guidé le Docteur Romaine Detammaecker pendant la réalisation de sa thèse d'exercice sur étude rétrospective monocentrique chez 19 patients opérés d'une paralysie du muscle Deltoïde dans le cadre d'une atteinte plexique C5 C6 (n = 8) ou d'une atteinte isolée du nerf axillaire à la suite d'une luxation antérieure d'épaule (n = 11). Une attention particulière a été portée sur la recherche des facteurs prédictifs de mauvais pronostic. Cette étude a mis en évidence de bons résultats en termes de récupération de la force musculaire et de la mobilité active de l'épaule, similaire à ceux des études publiées précédemment. De plus, il a été indispensable d'orienter Romain Detammaecker vers une analyse en sous-groupes, en fonction de l'origine de la paralysie, afin de comparer les résultats des patients atteints d'une lésion isolée du nerf axillaire avec ceux atteints d'une lésion plexique C5C6. Nos données ont confirmé l'efficacité similaire de ce transfert nerveux quel que soit le niveau d'atteinte lésionnel du nerf axillaire. Nous avons pu aussi valider la faisabilité technique de la procédure dans les cas de lésion distale du nerf axillaire.



**Figure 42.** Photographie peropératoire d'un transfert nerveux d'une branche motrice du nerf du chef médial du muscle Triceps Brachial (Tr) sur le nerf axillaire (Ax) afin de réanimer le muscle Deltoïde.

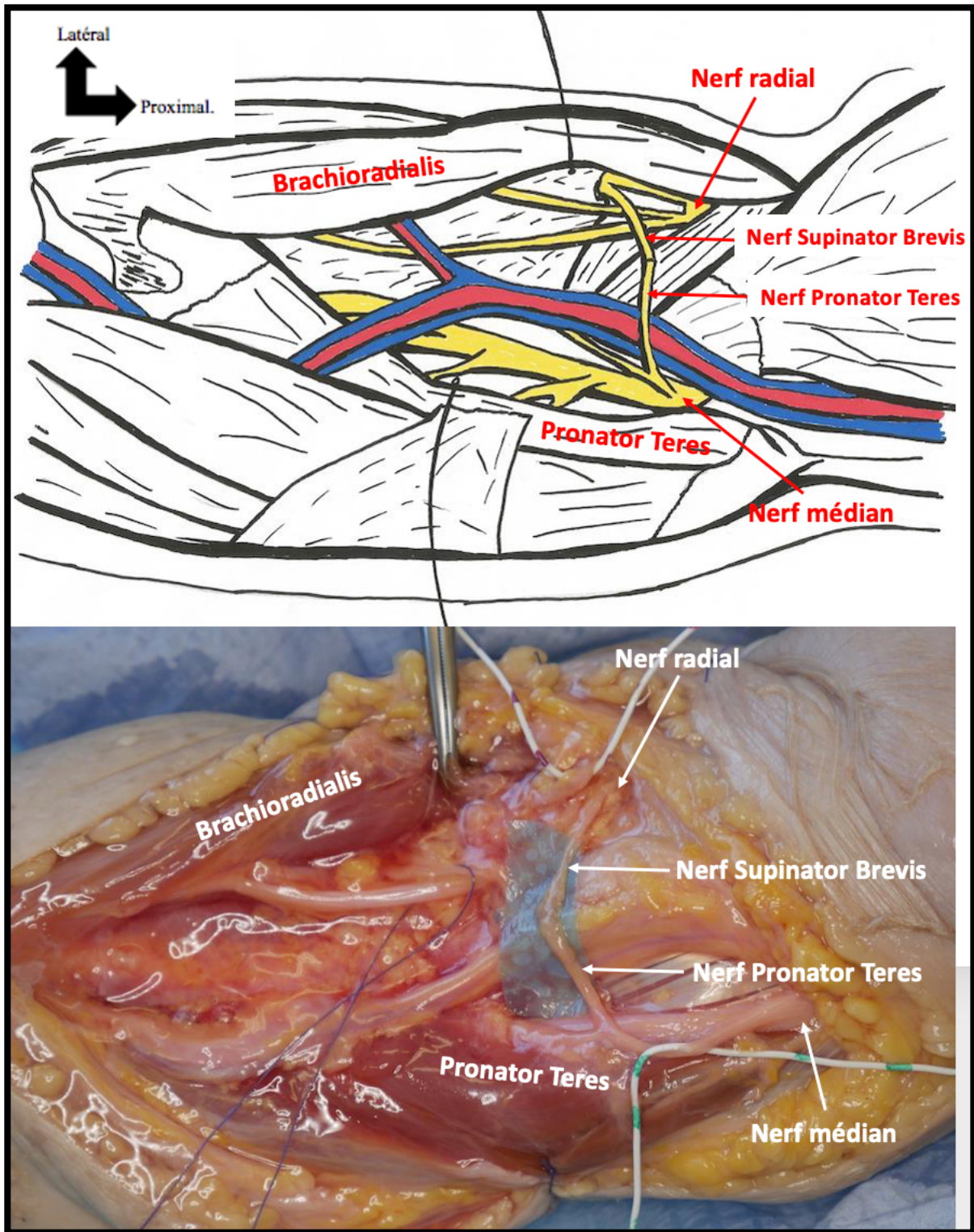
Toutefois, la précocité de la prise en charge (délai de 6 mois après le traumatisme) est apparue comme un facteur déterminant du succès de la chirurgie. De même, durant la réalisation de ce travail scientifique, nous avons étudié l'impact pronostic d'une lésion associée de la coiffe des rotateurs. En association avec la Docteur Anne Foisneau-Lottin, médecin rééducateur à l'Institut Régional de Réadaptation (IRR), nous avons mis en évidence que la récupération fonctionnelle d'une paralysie du muscle Deltoïde dépendait à la fois de la récupération nerveuse suite à la neurotisation, mais également de l'état de la coiffe des rotateurs. Nous avons constaté qu'une faible réinnervation musculaire pouvait être compensée en termes de mobilité active de l'épaule par une coiffe intacte. Cependant, ceci peut entraîner une surcharge de la coiffe des rotateurs aboutissant à une authentique rupture des tendons de celle-ci. Ainsi, l'évaluation de la force musculaire est apparue comme un critère majeur permettant d'affiner les résultats propres à la chirurgie nerveuse. À l'inverse, une lésion de la coiffe des rotateurs non traitée conjointement a été responsable de mauvais résultats sur les amplitudes articulaires alors que la contractilité du muscle Deltoïde était efficace. Cette situation est plus courante en cas de luxation de l'épaule (Robinson et al., 2012).

Le travail réalisé avec le Docteur Romain Detammaecker a permis d'identifier dans plusieurs cas d'atteinte plexique C5C6, l'existence d'un déficit de supination de l'avant-bras. Cette constatation était indépendante du résultat de la chirurgie nerveuse pour l'épaule. Chez ces patients, la posture spontanée était en pronation de l'avant-bras témoignant d'un déséquilibre du tonus musculaire entre les muscles pronateurs et ceux supinateurs. La supination est un mouvement permettant d'orienter la paume de la main vers le haut. Cette fonction est essentielle à la réalisation des gestes quotidiens. Son contrôle est assuré par les muscles Supinator Brevis et Biceps Brachii (Roukoz et al., 2008). Le muscle Supinator brevis est innervé par le nerf radial par son contingent issu de la racine C6. Il est donc atteint conjointement avec le muscle Biceps Brachii (racine C5) dans les atteintes supérieures du plexus brachial (Soubeyrand et al., 2017). Les solutions proposées pour traiter le déficit de supination sont peu développées, consistant à la réalisation d'une libération du muscle Pronator Teres, ou de transferts tendineux (Cheema et al., 2006). Les résultats de ces solutions sont imparfaits et souvent aléatoires. De plus, jusqu'à présent, il n'y a pas d'études évaluant la faisabilité d'une neurotisation pour réanimer le muscle Supinator Brevis. En essayant de combler ce vide de connaissance, j'ai dirigé le Docteur Hugo Maschino pendant son travail de thèse d'exercice en réalisant une étude anatomique cadavérique incluant 20 membres supérieurs.

Dans un premier temps, il convenait de réfléchir à un modèle de transfert nerveux réalisable à l'avant-bras. Sur la base des travaux de Susan E. Mackinnon (Davidge et al., 2013 ; Ray et Mackinnon, 2011) dans le traitement des paralysies des nerfs médian et radial, j'ai proposé à Hugo Maschino d'étudier la faisabilité technique d'une réanimation du muscle Supinator Brevis par neurotisation d'une branche du nerf médian à destinée du muscle Pronator Teres. L'objectif était à la fois de réinnerver le muscle Supinator Brevis, mais également d'affaiblir le muscle Pronator Teres.

Une première difficulté est rapidement apparue, celle de la voie d'abord. En effet, il était indispensable d'accéder par le même abord cutané au nerf médian et ses branches motrices allant jusqu'au muscle Pronator Teres puis au nerf radial et ses branches motrices allant jusqu'au muscle Supinator Brevis. Dans le but d'éviter une approche chirurgicale trop invasive source de potentielle complication post opératoire, nous avons déduit la nécessité de positionner l'avant-bras en supination puis en pronation durant l'intervention afin de rendre accessible l'ensemble des structures musculo-nerveuses. Une fois ce point résolu, nous devions impérativement confirmer, d'une part, l'existence de plusieurs branches motrices à destinée du muscle Pronator Teres afin de pouvoir utiliser l'une d'entre elles sans risquer de dénervier totalement le muscle. D'autre part, il était primordial d'évaluer la longueur disponible de la branche nerveuse transférée afin de réaliser une suture directe sur le nerf receveur du muscle Supinator Brevis. Par la réalisation d'une intraneurodissection au sein du nerf médian et/ou du nerf radial, la suture nerveuse sans tension fut systématiquement possible. Un autre élément important, en termes de capacité de réinnervation, était la présence d'une adéquation de diamètre des deux branches nerveuses. Finalement, cette nouvelle technique de neurotisation est apparue réalisable dans l'ensemble des cas. Sa reproductibilité a été excellente avec une variabilité interindividu de disposition anatomique des branches nerveuses très faibles lors de ce travail anatomique.





*Figure 43. Schéma et Photographie d'une dissection cadavérique illustrant le transfert nerveux d'une branche motrice du nerf du muscle Pronator Teres sur le nerf du muscle Supinator Brevis afin de réanimer la supination de l'avant-bras.*

### 5.5.2. Bilan de la recherche dans la thématique plexus brachial

Les résultats présentés dans le domaine des neurotisations pour paralysie du plexus brachial nous ont permis de positionner comme technique de référence dans notre pratique quotidienne l'utilisation d'une branche motrice du nerf du Triceps Brachial pour réanimer le muscle Deltoïde. Ses résultats fonctionnels, sa faisabilité technique et l'absence de séquelle d'un prélèvement de greffon nerveux lui confèrent un réel avantage sur les techniques de greffes nerveuses intercalaires. Déjà reconnu dans les atteintes plexiques C5 C6, cette neurotisation doit être encouragée dans les atteintes isolées du nerf axillaire dans les suites d'une luxation antérieure d'épaule. Pour finir, notre enseignement s'est aussi porté sur la coiffe des rotateurs qui doit faire l'objet d'une évaluation systématique afin d'améliorer le pronostic.

Les travaux sur la réanimation du muscle Deltoïde ont permis d'identifier dans certains cas l'évolution vers un déficit de supination de l'avant-bras dans ces atteintes supérieures du plexus brachial. Il convenait donc dans la lignée de l'évolution récente de la chirurgie nerveuse du plexus brachial, de réfléchir à une possibilité de neurotisation afin de réanimer le muscle Supinator Brevis. L'utilisation d'une branche motrice du nerf du Pronator Teres semble être un choix anatomique fiable et réalisable. L'adéquation entre la branche nerveuse transférée et celle receveuse présage de condition locale optimale à la réinnervation musculaire. Toutefois, ces résultats doivent être considérés avec précaution dans l'utilisation clinique notamment en ce qui concerne la récupération fonctionnelle. L'option proposée est celle de l'utilisation d'un antagoniste au muscle Supinator Brevis. Les suites prévisibles en termes de rééducation pour intégrer un tel transfert nerveux se voient complexifiées. Néanmoins, il ne s'agit pas de l'unique technique de transfert nerveux antagoniste comme en témoigne les bons résultats de l'utilisation d'une branche motrice du nerf ulnaire pour réanimer l'extension du coude (Bertelli et al., 2015), ou encore une branche motrice du nerf radial pour pallier le déficit des intrinsèques de la main (Tung et al., 2013).

Pour finir, nous avons confirmé la nécessité d'une prise en charge précoce de ces atteintes à pronostic sévère. Le palier de 6 mois doit constituer un objectif de délai de prise en charge afin d'optimiser les capacités de récupération fonctionnelle.

## 5.6. TRAVAUX DE RECHERCHE DANS D'AUTRES THÉMATIQUES

### Encadrements :

#### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Benjamin Degeorge

- Arthroplastie de l'articulation interphalangienne proximale par prothèse Tactys® : résultats cliniques et radiographiques au recul minimum de 12 mois.
  - Soutenu le 14 décembre 2018
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-8
  -

#### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Jonathan Granero

- Étude cadavérique de la ligamentoplastie du ligament collatéral ulnaire dans le traitement des instabilités chroniques du pouce.
  - Soutenu le 6 avril 2020
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-17

#### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Aurélie Wolf-Mandroux

- Le lambeau pédiculé à partir de la première branche dorsale de l'artère digitale palmaire propre des doigts longs : étude anatomique cadavérique.
  - Soutenu le 4 mai 2020
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-22

#### Stage d'initiation à la recherche : Dr. Romain Detammaecker

- Effet de différentes positions d'attelle sur la relaxation des tendons fléchisseurs.
  - Soutenu le 11 juin 2019
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-15

#### Thèse d'exercice : Dr. Martin Cholley-Rouleau

- L'arthrodèse scapho-trapézo-trapézoïdienne dans le traitement chirurgical de l'arthrose isolée : à propos d'une série de 22 cas au recul de 8 ans.
  - Soutenu le 16 septembre 2020
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-33

#### Thèse d'exercice : Dr. Sophie Sabau

- Arthrodèse des quatre os avec plaque de verrouillage dorsal : suivi de 4 à 9 ans.
  - Soutenu le 9 septembre 2018
  - Encadrement à 100%
  - Publication associée : ACL-23

#### Thèse d'exercice : Dr. Bérangère Lamon

- Greffe osseuse sous arthroscopie des pseudarthroses du scaphoïde : technique chirurgicale et résultats d'une série bicentrique de 42 cas.
  - Soutenu le 12 juin 2020
  - Encadrement à 100 %
  - Publication associée : ACL-39

## **Encadrements :**

### **Thèse d'exercice : Dr. Yoan-Kim De Almeida**

- Recul en filot du muscle premier interosseux dorsal dans la pollicisation de l'index chez l'enfant : étude anatomique de la vascularisation, de l'innervation et technique chirurgicale.
  - Soutenue le 19 septembre 2018
  - Encadrement à 75 %
  - Publications associées : ACL-30 et ACL-40

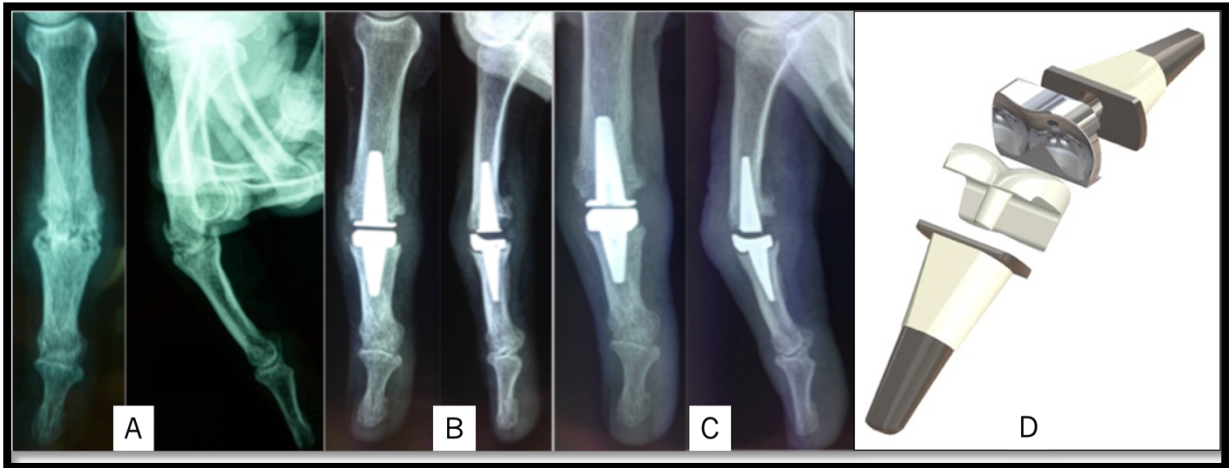
Au cours de ma carrière de chercheur, j'ai, également, eu la chance de participer à d'autres projets en dehors de mes thématiques de prédilection. Mon intégration au corps du personnel enseignant à la Faculté de médecine de Nancy, Université de Lorraine, m'a incité à travailler sur l'amélioration des techniques d'évaluation des pratiques professionnelles des internes de chirurgie. J'ai contribué à la réalisation de projets centrés sur l'amélioration de la prise en charge des patients en chirurgie de la main et du poignet, basés sur l'analyse rétrospective de données conventionnelles et sur la réalisation d'études anatomiques.

J'ai encadré quatre stages d'initiation à la recherche :

- Lors de mon fellowship en chirurgie de la main à l'institut de la main Nantes Atlantique, j'ai eu l'opportunité de réaliser une étude clinique rétrospective monocentrique rapportant les résultats préliminaires chez 22 patients de la prothèse TACTYS® (Stryker, Pusignan, France) dans le traitement de l'arthrose douloureuse enraidissante de l'articulation interphalangienne des doigts longs (Publication ACL-3). Contrairement aux implants en silicone introduits dans les années 1970 par Swanson (1973), et dont les résultats sur la mobilité articulaire sont modestes avec une longévité problématique (Pellegrini et Burton, 1990), la prothèse TACTYS® est un nouvel implant de type arthroplastie totale, à glissement, non contraint, anatomique et modulaire. Dans cette étude, les résultats à court terme de cet implant sont apparus prometteurs avec l'obtention d'une indolence et la restauration d'une amplitude articulaire fonctionnelle. Afin de positionner cette prothèse comme une alternative fiable aux autres implants conventionnels, j'ai orienté le Docteur Benjamin Degeorge dans la réalisation d'une étude similaire sur un effectif de 27 patients aux caractéristiques comparables et opérés dans le service de chirurgie de la main du CHRU de Nancy. Avec un recul moyen similaire à la première étude, nous avons confirmé l'efficacité de cet implant sur la



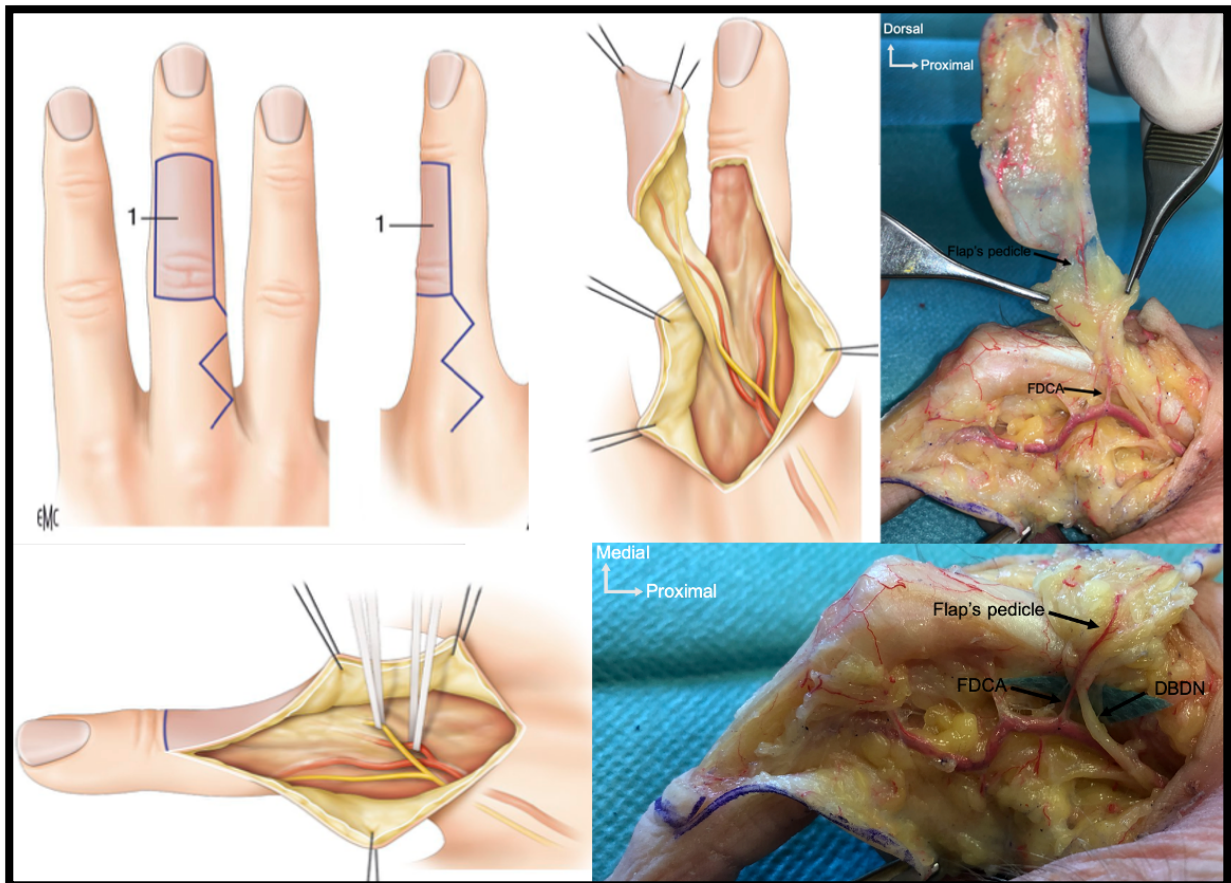
douleur et sa capacité à maintenir une mobilité articulaire fonctionnelle. Par ailleurs, nous avons affiné notre analyse radiographique dans cette cohorte permettant de mettre en évidence l'absence de complication de type descellement précoce, fracture ou enfoncement d'implant. Ceci nous a permis de positionner la prothèse TACTYS® comme une alternative valable, avec toutefois nécessité d'un suivi à plus long terme afin de juger de la pérennité des résultats.



*Figure 44. Exemple d'une arthrose avancée de l'articulation interphalangienne proximale d'un doigt long (A) traitée par une prothèse TACTYS (D). Résultats radiographiques à 1 an (B) et 2 ans (C) de recul.*

- Avec le Docteur Jonathan Granero, aidé du Professeur Gilles Dautel, nous avons travaillé sur le développement et l'évaluation d'une nouvelle technique chirurgicale de ligamentoplastie pour traiter les cas d'instabilité chronique de l'articulation métacarpophalangienne du pouce dans les suites d'une entorse grave (Carlson et al., 2013 ; Glickel et al., 1993 ; Jimenez et al., 2019 ; Lee et al., 2005). Lors d'une étude cadavérique, nous avons mené une évaluation radiographique des rapports articulaires entre le premier métacarpe et la première phalange du pouce, avant et après réalisation d'une instabilité métacarpophalangienne, puis après la réalisation de notre ligamentoplastie. D'après les résultats de cette étude, notre ligamentoplastie semble corriger les caractéristiques radiographiques de l'instabilité métacarpophalangienne permettant de restaurer la stabilité du pouce sans limiter significativement la mobilité en flexion de celui-ci.

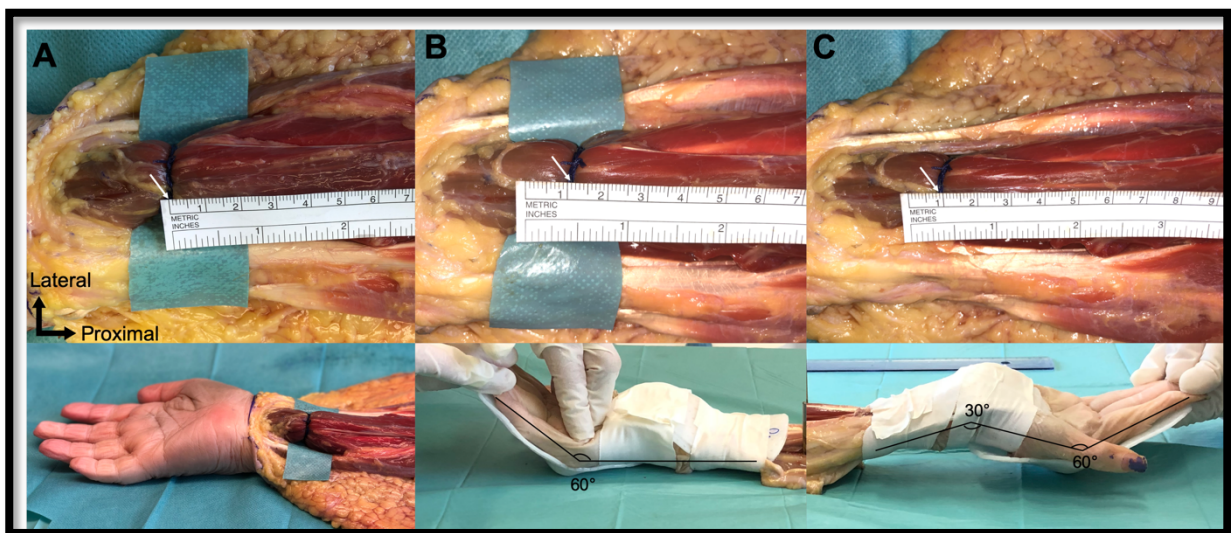
- Avec le Docteur Aurélie Wolf-Mandroux, nous avons étudié la reconstruction pour les pertes de substance cutanée des doigts longs. Cette situation est très fréquemment rencontrée en traumatologie de la main (Raimbeau, 2003). L'utilisation des lambeaux locaux représente une option thérapeutique essentielle. Le choix du lambeau dépend de nombreux critères. Dans tous les cas, la reconstruction idéale cherchera à respecter les caractéristiques mécaniques respectives de la peau d'une part, la surface et les limites des unités fonctionnelles cutanées d'autre part (Biswas et al., 2014 ; Rehim et al., 2015). De même, une attention particulière sera portée à la restauration d'une sensibilité discriminative (Kim et al., 2018 ; Lucchina et al., 2019). Le lambeau pédiculé à partir de la première branche dorsale de l'artère digitale palmaire propre a fait l'objet de très peu d'études dans la littérature (Tellioglu et Sensöz, 1998). Ce lambeau a l'avantage d'être sensible et d'engendrer une faible morbidité par l'absence de sacrifice d'un axe vasculo-nerveux principal d'un doigt (Zhao et al., 2016). Afin de décrire les variations anatomiques du pédicule vasculo-nerveux du lambeau et ses rapports, de préciser la technique de dissection et d'évaluer ses potentielles indications, nous avons conduit une étude anatomique cadavérique portant sur vingt-six doigts de spécimens frais. Une attention particulière a été portée sur la qualité de l'injection intra-artérielle de silicone coloré afin d'obtenir des dissections de grandes qualités. Ainsi, dans un premier temps, j'ai enseigné à Aurélie Wolf-Mandroux, la technique d'injection intra-artérielle d'une pièce anatomique. Ceci nous a permis d'obtenir des résultats fiables et reproductibles, décrivant les différentes dispositions anatomiques du pédicule du lambeau, la taille moyenne de sa palette cutanée et donc de la surface potentielle de couverture accessible, mais aussi sa capacité à répondre à des pertes de substance cutanée homodigitales et hétérodigitales. Par cette étude, nous avons désormais inclus ce lambeau dans notre arsenal thérapeutique quotidien.



*Figure 45. Le lambeau en îlot dorsal (1) basé sur la première branche dorsale de l'artère digitale palmaire propre des doigts longs (FDCA). La sensibilité du lambeau est assurée par la branche dorsale du nerf digital palmaire propre des doigts longs (DBDN).*

- Les protocoles d'immobilisation et de rééducation après réparation des tendons fléchisseurs des doigts sont nombreux et restent largement discutés (Thien et al., 2004). Traditionnellement, les réparations étaient protégées par une attelle dorsale basée sur l'avant-bras avec le poignet en position légèrement fléchié ou neutre et la fonction de la main restreinte pendant les 6 premières semaines suivant la réparation (Lister et al., 1977 ; Tang, 2007). Récemment, certains auteurs (Peck et al., 2014) ont conclu que les forces exercées sur les tendons fléchisseurs dépendent de la position du poignet. La position à 45° d'extension du poignet semble être la meilleure position pour réduire les forces nécessaires lors du travail de flexion digitale lors de la réalisation d'un protocole de mobilisation active précoce. À notre connaissance, aucune étude comparant la relaxation des tendons dans différentes positions du poignet et de l'articulation métacarpophalangienne n'avait été menée. Ainsi, avec le Docteur Romain Detammaecker, en association avec la Docteur Anne Foisneau-Lottin, médecin rééducateur à l'Institut Régional de Réadaptation (IRR), nous avons évalué lors d'une

étude cadavérique l'impact du positionnement du poignet et des doigts sur la relaxation des tendons fléchisseurs. L'enjeu premier auquel nous avons été confrontés avec Romain Detammaecker, était la confection de différentes attelles thermoformées simulant différentes positions d'immobilisation. Nous avons noté la présence d'un relâchement tendineux lorsque le poignet était positionné en extension (à 30° ou à 45°) tant que la flexion des articulations métacarpophalangiennes était maintenue (à 30° ou à 60°). D'après nos résultats, nous pensons que cette position d'immobilisation pourrait être une option intéressante pour optimiser le glissement tendineux afin de réduire les adhérences sans augmenter le risque de rupture en assurant la relaxation des tendons réparés.

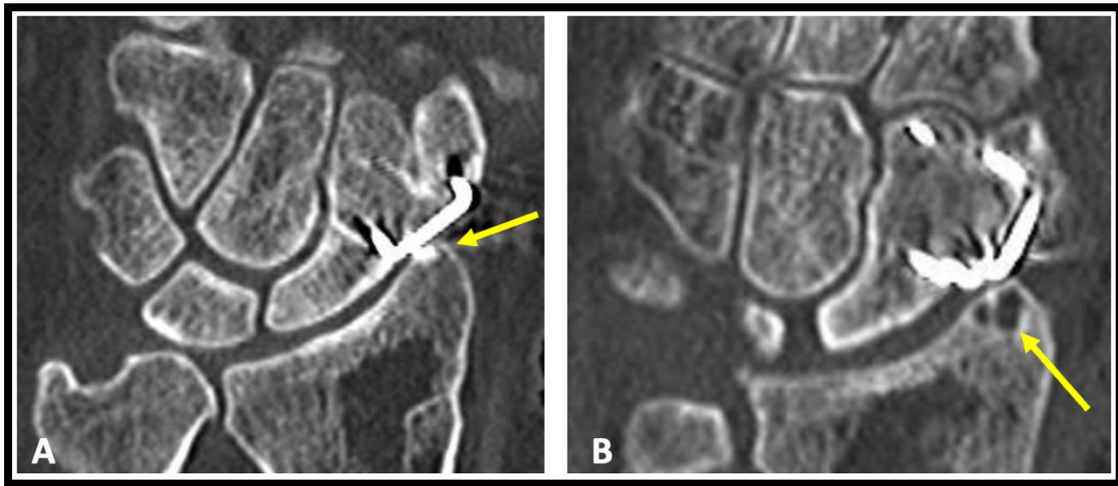


*Figure 46. Exemple de la relaxation des tendons fléchisseurs des doigts longs avec une attelle positionnant le poignet à 0° et les doigts à 60° de flexion (B) puis avec une attelle positionnant le poignet à 30° d'extension et les doigts à 60° de flexion (C). La position neutre de référence est celle avec le poignet et les doigts à 0° (A).*

J'ai également dirigé quatre thèses d'exercice pour le diplôme de docteur en médecine :

- J'ai guidé le Docteur Martin Cholley-Rouleau dans la réalisation de sa thèse d'exercice portant sur les résultats à moyen et long terme de l'arthrodèse scapho-trapézo-trapézoïdienne avec fixation par agrafes dans le traitement de l'arthrose scapho-trapézo-trapézoïdienne isolée (Goubier et al., 2006 ; Minami et al., 2003 ; Watson et al., 2003). Cette étude a mis en évidence une réduction significative de la douleur, avec une amélioration de la force et des scores fonctionnels. Toutefois, nous avons été confrontés à des difficultés d'analyse radiographique, responsable d'une sous-estimation du conflit entre l'agrafe de fixation et la styloïde radiale ainsi qu'une surestimation du taux de pseudarthrose. Ces difficultés sont inhérentes à cette zone articulaire et au phénomène de superposition provoqué par la radiographie standard. C'est donc pour mieux étudier ces deux points que j'ai orienté Martin Cholley-Rouleau vers la réalisation de 4DCT chez ces patients qui conservaient des symptômes lors de l'utilisation de leurs poignets. Cet outil d'imagerie dynamique nous a permis de confirmer qu'il existait systématiquement lors du mouvement d'inclinaison ulnaire du poignet, un conflit entre l'agrafe la plus externe et le radius ; celui-ci parfois responsable d'un authentique collapsus arthrosique. Désormais, afin d'éviter cela, nous conseillons la réalisation systématique d'une styloïdectomie. Par ailleurs, nous avons mis en évidence dans la très grande majorité des cas douteux de pseudarthroses à la radiographie, une consolidation partielle respectant l'interligne prioritaire scapho-trapézien et ne devant pas être considérée comme une complication. Ce travail de thèse a conforté l'intérêt du 4DCT dans l'évaluation des résultats de nos techniques chirurgicales intra-carpiennes, notamment en cas de doute à l'imagerie conventionnelle chez un patient resté symptomatique.





*Figure 47. Coupes scanographiques frontales en inclinaison radiale maximale lors d'un 4DCT. À 2 ans de recul de la chirurgie, on visualise le conflit entre l'agrafe et la pointe de la styloïde radiale (A)(flèche) responsable d'une arthrose stylo-scaphoïdienne focale (B)(flèche).*

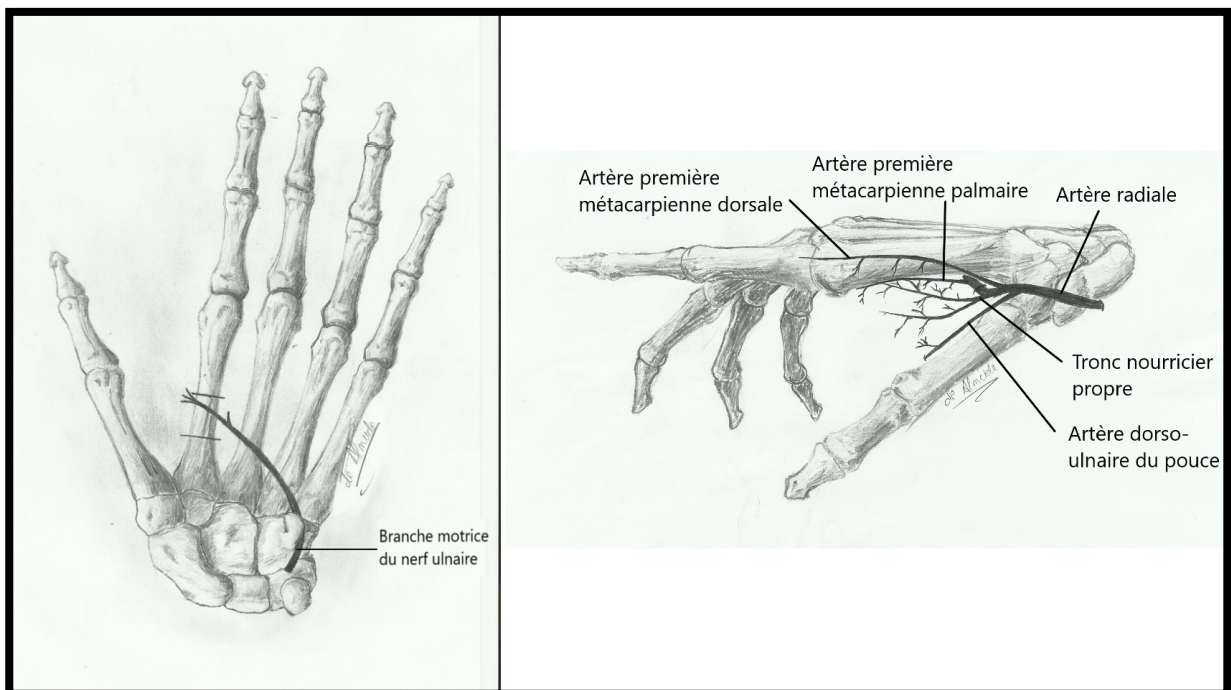
- Chez 50 patients porteurs d'un collapsus arthrosique douloureux avancé du poignet, nous avons réalisé avec la Docteur Sophie Sabau, une analyse rétrospective des résultats de la scaphoïdectomie avec arthrodèse des quatre os interne en utilisant une plaque dorsale verrouillée APTUS® 2.0/2.3 TriLock four-corner fusion plate (Medartis AG, Basel, Switzerland). Comparativement aux autres techniques de fixation traditionnelles (broches, vis, agrafes), cette dernière a permis une reprise plus précoce des activités des patients par un délai réduit d'immobilisation et de rééducation, tout en procurant une efficacité similaire sur la douleur et la force de poigne (Kraisarin et al., 2011 ; Rimokh et al., 2020). Cet avantage semble justifier le coût initial plus élevé du matériel, en réduisant les sommes globales engagés pour la prise en charge de ces patients (Pauchard et al., 2014).
- La fracture du scaphoïde est la fracture du carpe la plus fréquente (Hove, 1999). La pseudarthrose est la principale complication avec, en l'absence de traitement, une évolution progressive vers l'instabilité carpienne et le développement d'un collapsus arthrosique du poignet (Berdia et Wolfe, 2001 ; Laulan et al., 2015). Le traitement chirurgical est axé sur la consolidation osseuse et le bon positionnement du scaphoïde pour corriger les déformations du carpe et ainsi prévenir l'arthrose à long terme. Pour améliorer la consolidation osseuse, de nombreuses procédures chirurgicales ont été développées et tentées, y compris diverses formes de greffe osseuse non vascularisée ou vascularisée. Cependant, il existe une controverse quant à la procédure la plus efficace

(Hovius et de Jong, 2015). En règle générale, ces traitements parviennent à la consolidation dans 80 à 92 % des cas. Cependant, le pôle proximal du scaphoïde semble être le site de pseudarthrose le plus difficile pour obtenir une consolidation osseuse (Munk et Larsen, 2004 ; Pinder et al., 2015). La chirurgie à ciel ouvert peut compromettre la vascularisation du scaphoïde, déstabiliser les attaches ligamentaires et générer une raideur postopératoire (Yeo et Kim, 2018). Ainsi, la greffe osseuse arthroscopique a été utilisée ces dernières années pour traiter les cas de pseudarthrose de la partie proximale du scaphoïde avec des taux de consolidation osseuse excellents et un faible enraidissement articulaire (Wong et Ho, 2011). Devant l'intérêt grandissant pour cette technique chirurgicale, j'ai supervisé le Docteur Bérangère Lamon dans le cadre de sa thèse d'exercice afin de réaliser une étude rétrospective bicentrique (Nancy et Nantes) rapportant les résultats de la greffe osseuse arthroscopique avec fixation par broche pour traiter des cas de pseudarthrose du tiers proximal et moyen du scaphoïde avant le stade d'arthrose. Dans un premier temps, il convenait de faire un réel état de lieux sur les connaissances actuelles en ce qui concerne cette pathologie. Ceci nous a permis, d'une part, d'obtenir un matériel scientifique afin de pouvoir comparer les résultats de notre étude avec ceux précédemment publiés. D'autre part, il convenait d'utiliser la classification radiologique la plus appropriée afin de bien caractériser les types de pseudarthrose de notre série. Plusieurs observations intéressantes ressortaient de cette étude. Premièrement, nos résultats étaient similaires à ceux des précédentes études portant sur la même technique. Ensuite, comparativement aux études techniques à ciel ouvert, nous avons confirmé le caractère moins enraidissant de la technique arthroscopique. Ce travail de thèse a permis de démontrer le caractère fiable, efficace et peu invasif de cette chirurgie.

- Le traitement de référence de l'hypoplasie sévère ou de l'aplasie du pouce chez l'enfant est la pollicisation de l'index (Dautel, 2017). Le défaut d'opposition du néo-pouce, secondaire à la faiblesse du muscle premier interosseux dorsal, est une des complications les plus fréquentes à long terme et peut nécessiter secondairement une nouvelle chirurgie de transfert tendineux (Buck-Gramcko, 1991). Afin de pallier cette situation, nous avons étudié avec le Docteur Yoan-Kim De Almeida, aidé du Professeur Gilles Dautel, le trajet et les rapports anatomiques de la branche motrice du nerf ulnaire à destination de ce muscle pour prévenir sa lésion iatrogène lors de la réalisation d'une pollicisation. Afin de définir un repère anatomique fiable et facile en pratique courante,



j'ai orienté Yoan-Kim De Almeida vers l'utilisation du squelette osseux comme support de référence. Ainsi, cette étude a démontré que le point de pénétration du rameau moteur dans le muscle se situait en moyen à 40% de la hauteur du deuxième métacarpe. Dans un deuxième temps, l'étude de la vascularisation du muscle premier interosseux dorsal nous a permis de décrire une technique originale de recul en îlot du muscle dans le but d'améliorer les capacités du néo-pouce. Cette première étape de validation de la faisabilité de cette technique représente l'étape indispensable à la mise en place d'une étude clinique prospective en vue de conclure à son efficacité.



*Figure 48. Schémas illustrant l'innervation et la vascularisation du muscle premier interosseux dorsal d'après nos résultats.*

## 6. PERSPECTIVES

### 6.1. CONTRIBUTION DE L'IMAGERIE DYNAMIQUE

Le 4DCT s'est avéré être un outil d'imagerie dynamique essentiel tout au long de notre travail sur l'instabilité scapholunaire, à la fois pour son rôle dans l'évaluation diagnostic et pronostic des patients suspectés d'instabilité, mais également dans l'évaluation de l'efficacité biomécanique de notre technique chirurgicale de reconstruction scapholunaire. Notre perspective est d'augmenter les inclusions afin de pouvoir confirmer nos résultats, et ainsi proposer le 4DCT comme examen de référence dans le bilan d'imagerie de l'instabilité scapholunaire, notamment chez les patients présentant une évaluation radiographique initiale non contributive. Nous pensons qu'il pourra être possible, à terme, de proposer une classification des stades d'instabilité en 4DCT, probablement plus précise que les classifications actuelles radiographiques ou arthroscopiques. Nous soulevons également la question de l'intérêt de maintenir l'étape chirurgicale d'arthroscopie exploratrice préthérapeutique.

De même, nous souhaitons maintenant évaluer l'efficacité de notre ligamentoplastie « SLIC » chez nos patients opérés, en faisant appel au 4DCT. Ainsi, nous avons récemment déposé un projet de recherche « **Étude EDLIS 2** », dont l'objectif principal sera d'évaluer la variation des paramètres biomécaniques du poignet avant et après chirurgie. Il sera intéressant de corréler les résultats en 4DCT avec l'évolution clinique du patient. Les données que nous recueillerons permettront de préciser l'algorithme décisionnel chirurgical basé sur les paramètres en 4DCT.

Pour finir, nous avons débuté nos recherches sur l'utilisation de l'IRM dynamique dans l'évaluation de la cinématique du carpe. L'un des avantages de l'IRM est l'absence de caractère irradiant. L'autre avantage est la possibilité d'avoir une analyse qualitative morphologique ligamentaire. Nos premiers travaux se sont portés sur l'analyse de plusieurs séquences d'acquisitions, afin d'obtenir une bonne résolution spatiale, mais aussi temporelle. Nos premiers essais réalisés sur volontaires sains ont permis de poser les bases des paramètres d'acquisitions. Nous avons utilisé un système IRM 1.5T Signa HDxt (General Electric, Milwaukee, Wisconsin, États-Unis). La figure 49 illustre la qualité de précision des structures analysées que nous avons pu obtenir. Sur cette base, nous souhaitons prolonger ce travail afin de définir un protocole d'acquisition, permettant d'allier résolution spatiale et temporelle.

La question du choix de l'antenne surfacique représente également un enjeu indispensable avant de pouvoir proposer cette technique d'imagerie dynamique en pratique clinique.

Ainsi, depuis novembre 2021, au sein du laboratoire IADI, je codirige (ACT accordée) avec le Professeur Pedro Augusto Gondim Teixeira, le projet doctoral de Romain Gillet, Médecin radiologue, Chef de Clinique-Assistant dans le service d'imagerie Guilloz (CHRU de Nancy). L'objectif de ce travail est de combiner l'étude par scanner haute résolution, et scanner - IRM dynamiques, des articulations périphériques, à l'aide de dispositifs permettant de standardiser ces acquisitions et d'en définir les indications quotidiennes en pratique clinique.

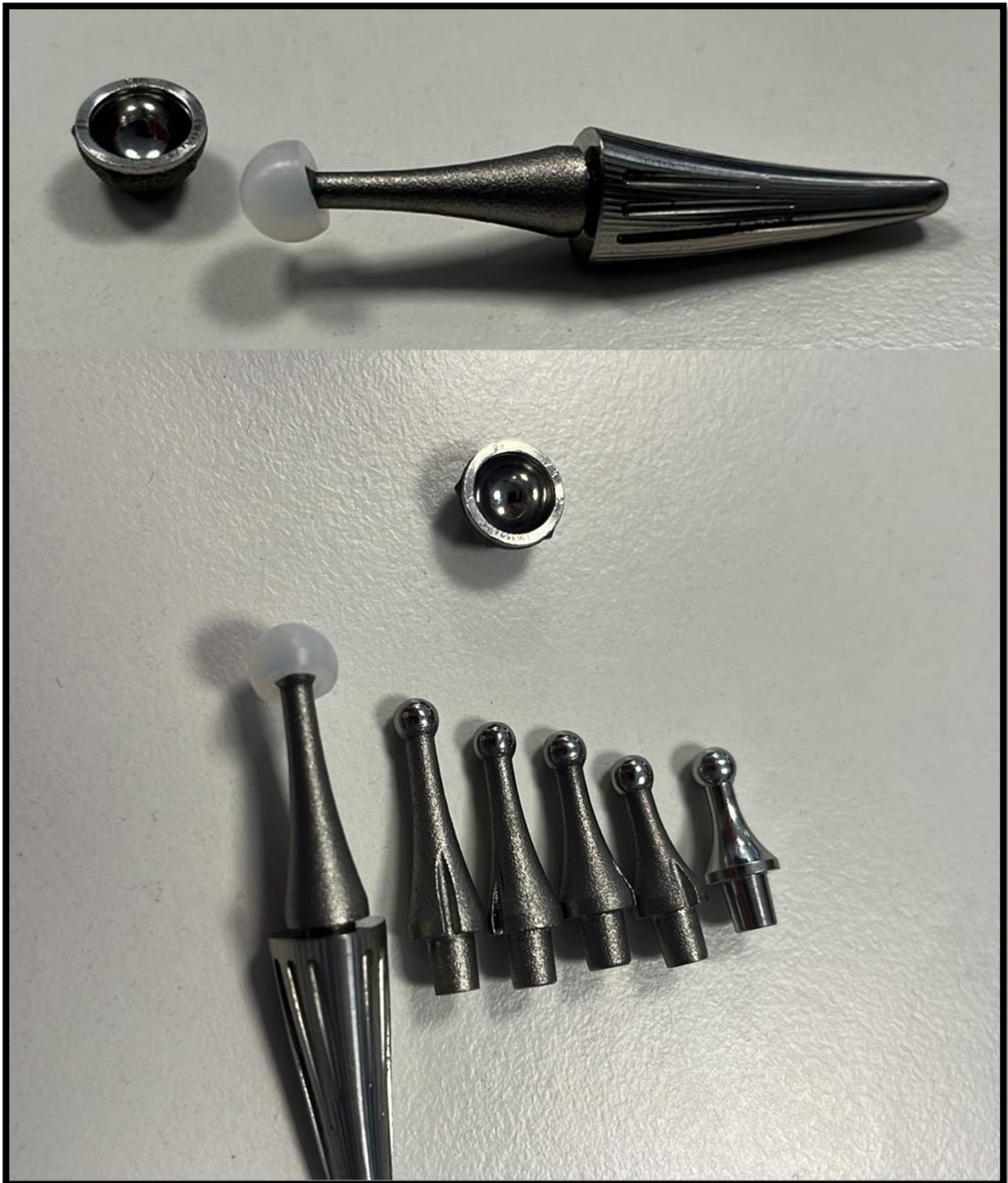


*Figure 49. Acquisition en IRM dynamique du poignet droit d'un volontaire sain pendant un mouvement de déviation radio-ulnaire. Images coronales du poignet dans les positions d'inclinaison radiale (A), neutre (B) et ulnaire (C) lors de la manœuvre continue de déviation. Il s'agit d'une séquence RF-Spoiled Radial FLASH : voxel size ( $\text{mm}^3$ ) =  $0.62 \times 0.62 \times 5$ , temporal résolution (ms) = 600, TR/TE (ms) = 4.65/2.27.*

## **6.2. CONTRIBUTION DE L'IMPRESSION 3D**

L'impression 3D est très certainement une technologie à fort potentiel dans le domaine de la santé et notamment dans la préparation des opératoires. L'une des applications médicales d'intérêt consiste à rendre palpable et à donner une forme tridimensionnelle physique aux informations issues de l'imagerie médicale. Cette modélisation permet au chirurgien d'améliorer la qualité de sa planification opératoire notamment en vue de la réalisation d'une chirurgie osseuse. Notre travail sur le cal vicieux du radius illustre parfaitement l'intérêt de cette technologie. Nos recherches se sont portées sur l'analyse 3D de cette pathologie complexe, difficile à appréhender en 2D. Nous avons pu planifier des chirurgies de correction osseuses d'une grande précision, notamment grâce à l'impression 3D plastique de guides d'aide à la réalisation de ces opérations. L'évaluation des résultats de notre technique a également gagné en précision par la comparaison des modèles 3D pré- et postopératoires.

L'utilisation pour la première fois de plaques de poignet imprimées en 3D titane, lors de notre étude cadavérique sur la prono-supination, a ouvert un champ immense de perspectives. D'une part, certains matériels d'ostéosynthèse pourront être modélisés et imprimés de manière à s'adapter parfaitement à l'anatomie spécifique à chaque patient. D'autre part, des modèles d'implants d'arthroplastie pourront faire l'objet d'une conception sur logiciel 3D puis être imprimés et testés sur modèle cadavérique. Selon les résultats obtenus, des améliorations successives se feront plus simplement avec in fine, un coût économique et de temps du processus de recherche et développement réduit. La figure 50 illustre l'impression 3D titane d'une prothèse scapho-métacarpienne avec différentes tailles, utilisée dans le cadre d'une étude cadavérique portant sur les solutions de reprises chirurgicales après descellement d'implant ou trapézectomie.

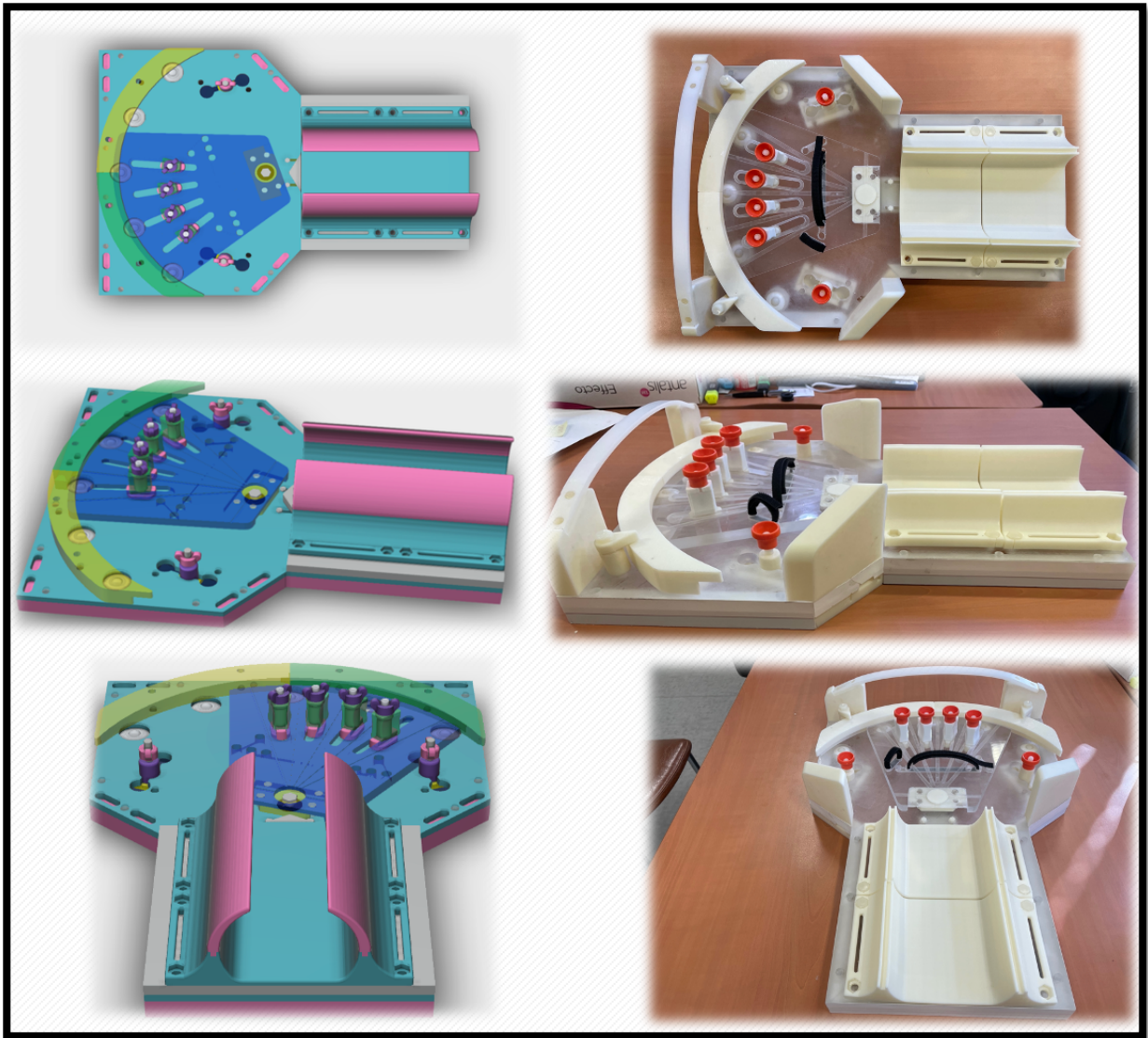


*Figure 50. Photographies d'un modèle de prothèse scapho-métacarpienne avec différentes tailles de col, imprimée en 3D titane.*

L'impression 3D a été d'une grande utilité dans la conception d'un dispositif de recherche pour l'imagerie dynamique. Afin d'homogénéiser la reproductibilité du mouvement du poignet d'un sujet, mais également d'en calculer l'amplitude lors de l'acquisition en imagerie dynamique, nous nous sommes intéressés, avec Nicolas Weber et Jacques Felblinger du Laboratoire IADI à la conception d'un dispositif permettant de répondre à cette problématique.

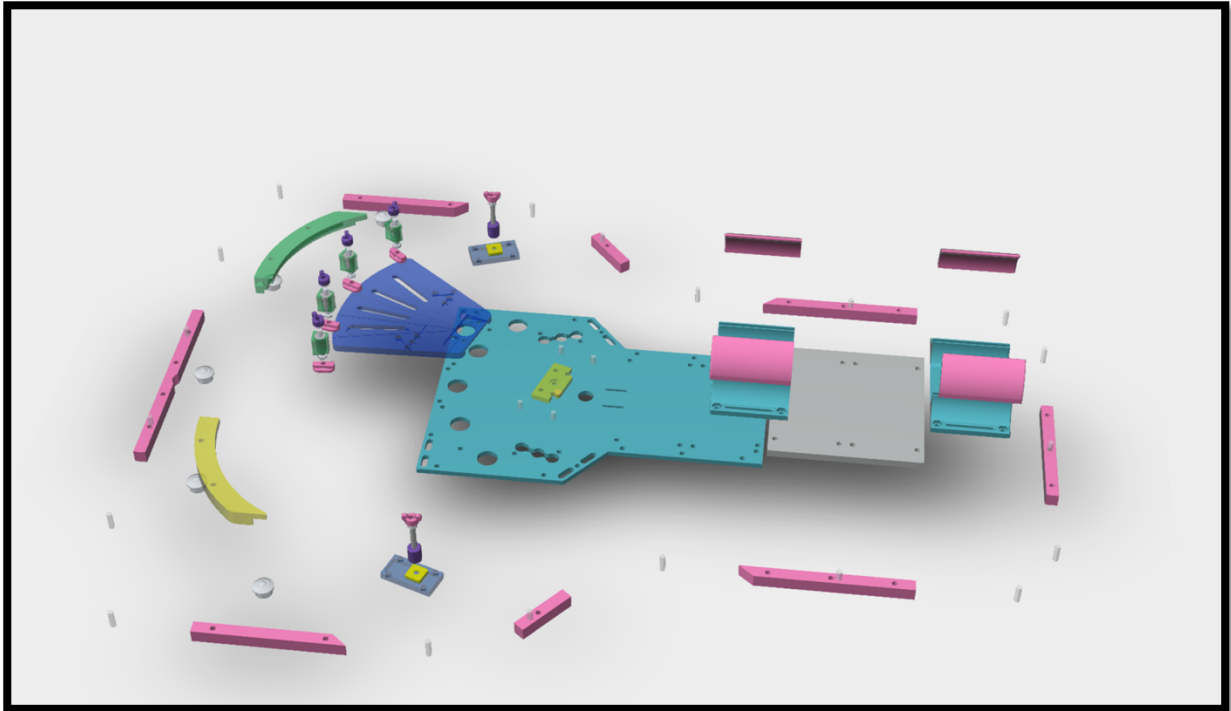
Ce dispositif intitulé « Guided Wrist Motion Device » permet la réalisation par le sujet d'un mouvement volontaire de déviation radio-ulnaire homogène et harmonieux, d'amplitudes maximales en inclinaison radiale puis ulnaire, tout en permettant de neutraliser les mouvements de flexion-extension et prono-supination. Il est conçu pour être utilisé en imagerie dynamique centrée sur le carpe. Les plans de conception du dispositif ont été entièrement conçus sur le logiciel 3D Inventor® Professional 2021 (Autodesk®, San Rafael, Californie, États-Unis). Le dispositif est majoritairement composé de verre polyméthacrylate de méthyle (PMMA) ALTUGLAS® (Altuglas International SAS, Groupe Akerma, France), d'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et de thermoplastique polyuréthane (TPU), NinjaFlex® Flexible 3D (TPU 85A) (NinjaTek®, Manheim, Pennsylvanie, États-Unis). Les pièces en PMMA ont été usinées à la main, celles en ABS et en TPU, imprimées en utilisant une imprimante 3D FDM (Fused Deposition Modeling) STREAM 30 ULTRA (Volumic 3D, Nice, France). Les sangles de maintien du membre ont été conçues en utilisant des rubans auto-agrippant (VELCRO®). Pour finir, le capteur d'analyse des amplitudes du mouvement est composé d'une roue encodeuse en Mylar (Broadcom®, Irvine, Californie, États-Unis), d'un encodeur incrémental (Broadcom®, Irvine, Californie, États-Unis) et d'une carte de contrôle développée par le Laboratoire IADI. Le dispositif est composé d'une quarantaine de pièces mécaniques découpées et/ou imprimées, de six éléments mécaniques de type roulement et de nombreuses vis, écrous et guiches. Toutefois, nous pouvons décrire deux parties distinctes : la partie fixe ou support pour l'avant-bras, et la partie mobile ou amovible pour la main et le poignet. À cela, s'ajoute le capteur d'enregistrement des amplitudes de mouvement.





*Figure 51. Vues 3D et photographies du dispositif « Guided Wrist Motion Device ».*





*Figure 52. Vue 3D de l'ensemble des pièces constituant le dispositif GWMD.*



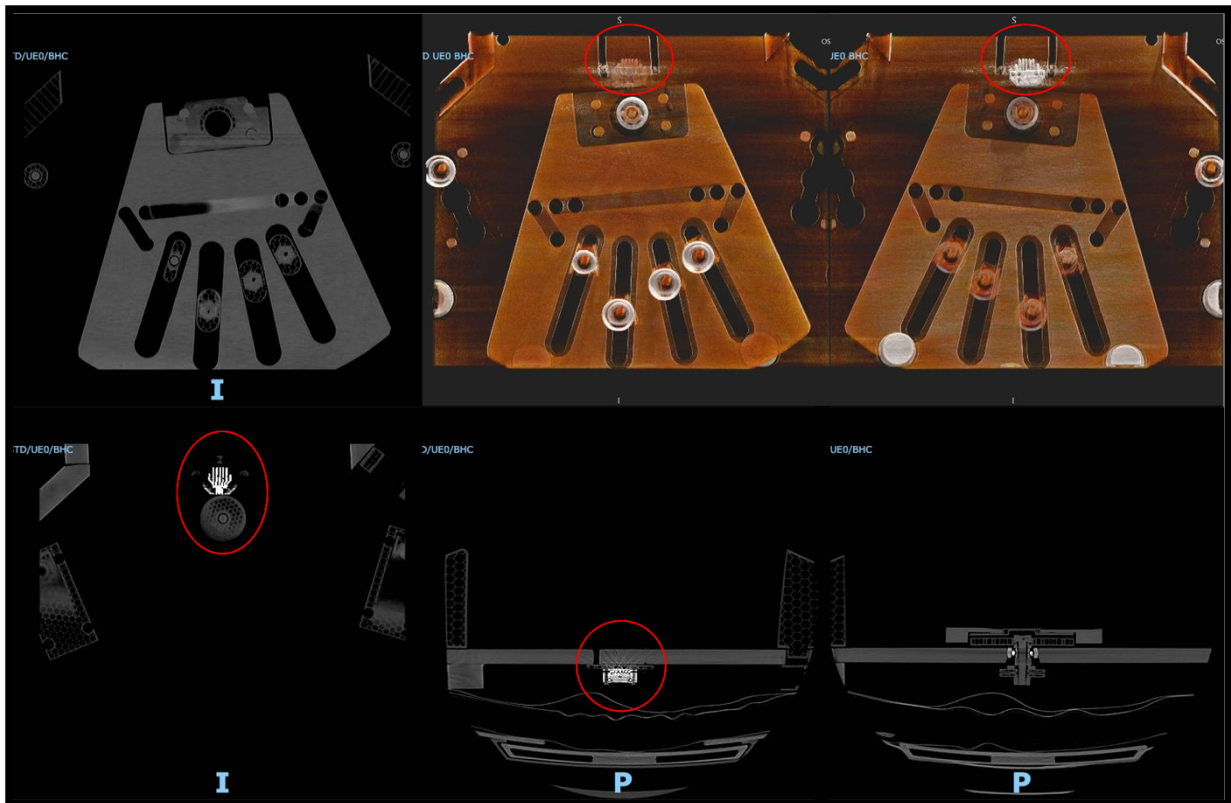
*Figure 53. Vues 3D et photographies du capteur d'analyse des amplitudes de mouvement du poignet. À noter en bas à droite, l'impression 3D de la pièce servant de support à l'interrupteur ON/OFF et au passage du câble de liaison du capteur à la console TDM ou IRM.*

Pour l'évaluation du dispositif, trois types de tests ont été réalisés :

- Une évaluation du risque. Chacune des étapes de l'utilisation du dispositif a été analysée et des moyens de maîtrise du risque ont été mis en place. La plupart des risques identifiés sont classifiés avec une probabilité de survenance « improbable ». Les risques classifiés avec une probabilité de survenance « modérée » sont liés à une mauvaise utilisation du dispositif. Ainsi, malgré deux risques ayant une probabilité de survenance « modérée », le bénéfice tiré d'un examen utilisant le dispositif et permettant le diagnostic d'instabilité du carpe en imagerie dynamique dépasse largement les risques encourus.
- Un test de compatibilité avec le scanner. Nous avons réalisé une acquisition scanographique du dispositif en utilisant le scanner Aquilion One du service d'imagerie Guilloz. Le but était de vérifier la compatibilité en termes d'encombrement du dispositif sur la table d'examen ainsi que sa stabilité notamment lors du déplacement de la partie mobile. Nous avons également vérifié l'absence d'artéfact provoqué par les composants du dispositif.



*Figure 54. Photographie montrant la compatibilité en termes d'encombrement du dispositif avec la table d'examen du scanner Aquilion One du service d'imagerie Guilloz. À noter la simulation hors acquisition scanographique, de l'installation sur le dispositif du membre supérieur droit d'un médecin volontaire.*



*Figure 55. Acquisition scanographique (scanner Aquilion One du service d'imagerie Guilloz) du dispositif, centrée sur la zone d'intérêt à analyser, montrant l'absence d'artéfact induit par le capteur électronique (cercles rouges).*

- Un test de fonctionnement sur sujets sains. Nous avons réalisé des essais sur volontaires sains en conditions réelles dans la salle du scanner Aquilion One, sans acquisition scanographique. Le but était de valider le fonctionnement du dispositif (installation et maintien du membre, faisabilité du mouvement de poignet, recueil des données du boîtier électronique sur le logiciel, compatibilité de l'encombrement du dispositif membre installé avec la table d'examen).





*Figure 56. Photographies illustrant l'installation du membre droit d'un volontaire sain sur le dispositif avec son poignet positionné à 0° puis en inclinaison radiale à 10°, 20°, 30° et en inclinaison ulnaire à 10°, 20°, 30°.*

Ainsi, ce dispositif de guidage du mouvement du poignet devrait permettre d'apporter confort et précision dans le bilan diagnostique et pronostic en imagerie dynamique des pathologies du carpe et notamment l'instabilité scapholunaire. Un dépôt de **brevet** est en cours. De plus, nous souhaitons inclure ce dispositif dans le projet de recherche clinique « **Étude EDLIS 2** » mettant en collaboration le service de chirurgie de la main du CHRU de Nancy, le service d'imagerie Guilloz et le laboratoire IADI. Par ailleurs, l'ensemble des composants du dispositif est compatible IRM et pourra faire l'objet d'une utilisation lors de la recherche sur l'IRM dynamique.

### **6.3. ENSEIGNEMENT ET ÉVALUATION DES CONNAISSANCES**

L'important changement des pratiques de développement et d'évaluation des techniques en chirurgie de la main est à l'origine d'une incompatibilité entre les méthodes d'évaluation des résultats et la pratique clinique. De nouveaux outils d'évaluation plus authentiques et représentatifs de l'activité clinique quotidienne, pourraient améliorer l'évaluation de nos chirurgiens et aussi favoriser la formation des internes en chirurgie.

Dans le cadre de la FST de chirurgie de la main, en association avec le Collège Français des Enseignants en Chirurgie de la Main (CFECM), j'envisage d'explorer plusieurs voies pour l'amélioration des outils docimologiques, tels que l'utilisation de logiciels accessibles sur le web pour la conception d'outils d'évaluation plus intuitifs. De même, nous travaillons activement sur la réalité virtuelle afin de reproduire les sensations et les étapes d'une opération chirurgicale permettant de former des chirurgiens par la pratique, n'importe où, n'importe quand.

Telles sont les perspectives que nous envisageons pour poursuivre la recherche dans nos différentes thématiques.

## 7. CONCLUSION

Au cours de ces 7 dernières années, j'ai travaillé sur le développement et l'évaluation de techniques en chirurgie de la main, du poignet et des nerfs périphériques. Des liens ont été créés avec des laboratoires de recherche, des industriels et d'autres équipes cliniques à Nancy, en France et à l'international, favorisant le développement de mes axes de recherche. La rigueur scientifique, l'utilisation de dispositifs avancés et de technologies récentes, ont rendu possible la réalisation de nombreuses études cliniques, anatomiques et biomécaniques avec une pertinence clinique évidente. Les études menées ont eu un impact significatif sur ma pratique clinique et sur celle de mes collègues. Les informations publiées ont contribué positivement pour la prise en charge des patients dans d'autres institutions. De nombreuses améliorations ont pu être apportées à certaines de nos techniques chirurgicales afin de perfectionner nos résultats. Nous avons également décrit de nouvelles procédures, notamment en chirurgie du poignet, avec systématiquement une grande rigueur dans l'évaluation des performances.

Avec les collègues et étudiants que j'ai pu encadrer au cours de ma carrière de chercheur, j'ai essayé de fournir un support technique et de leur faire comprendre l'importance de la rigueur méthodologique dans toutes les phases d'une étude scientifique. Je les ai aussi incités à garder l'esprit ouvert devant une base de données et à chercher activement la collaboration avec des professionnels d'autres spécialités, particulièrement non médicales, permettant ainsi de mener des travaux innovants et de haut niveau. Enfin, j'ai beaucoup insisté auprès des personnes que j'ai encadrées sur l'importance d'aboutir à la présentation des résultats sous forme d'articles scientifiques, de préférence en langue anglaise, ce qui reste une barrière importante pour la reconnaissance de la recherche médicale en France.



## 8. RÉFÉRENCES

**Abou Arab W, Rauch A, Chawki M et al.** Scapholunate instability: improved detection with semi-automated kinematic CT analysis during stress maneuvers. *European Radiology*. 2018, 28:4397-4406.

**Acheson RM, Chan YK, Clemett AR.** New Haven survey of joint diseases. XII. Distribution and symptoms of osteoarthritis in the hands with reference to handedness. *Ann Rheum Dis*. 1970, 29:275–86.

**Anakwe RE, Middleton SD, Hayton MJ.** A modified dorsal capsulotomy for improved radiocarpal exposure. *J Hand Surg Eur Vol*. 2013, 38:805-6.

**Andrzejewski A, Ledoux P.** Maïa® trapeziometacarpal joint arthroplasty: Survival and clinical outcomes at 5 years' follow-up. *Hand Surg Rehabil*. 2019, 38:169-73.

**Armbruster EJ, Tan V.** Carpometacarpal joint disease: addressing the metacarpophalangeal joint deformity. *Hand Clin*. 2008, 24:295–9.

**Armstrong AL, Hunter JB, Davis TR.** The prevalence of degenerative arthritis of the base of the thumb in post-menopausal women. *J Hand Surg Edinb Scotl*. 1994, 19:340–1.

**Athlani L, Granero J, Rouizi K, Hossu G, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA.** Evaluation of dorsal scaphoid displacement using posterior radioscapoid angle in patients with suspected scapholunate instability: a preliminary study. *Journal Hand Surgery Am*. 2021-1, 46:10-16.

**Athlani L, Granero J, Rouizi K, Hossu G, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA.** Four-Dimensional CT Analysis of Dorsal Intercalated Segment Instability in patients with Suspected Scapholunate Instability. *Journal Wrist Surgery*. 2021-2, 10:234-240.

**Athlani L, Rouizi K, Granero J, Gabriela H, Blum A, Dautel G, Gondim Teixeira PA.** Assessment of scapholunate instability with dynamic computed tomography. *J Hand Surg Eur Vol*. 2020-1, 45:375-382.

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Intercarpal ligamentoplasty for scapholunate dissociation: comparison of two techniques. *J Hand Surg Eur Vol*. 2020-2, 19;1753193420940498.

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Outcomes of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation: a prospective study in 26 patients. *J Hand Surg Eur Vol*. 2018-1, 43:700-707.

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers. *J Hand Surg Eur Vol*. 2018-2, 43:387-393.

**Athlani L, Pauchard N, Dautel G.** Treatment of chronic scapholunate instability: results with three-ligament tenodesis versus scapholunate and intercarpal ligamentoplasty. *Hand Surg Rehabil*. 2019, 38:157-164.

- Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R et al.** Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. *Hand Surg Rehabil.* 2018-3, 37:65-76.
- Athwal GS, Ellis RE, Small CF, Pichora DR.** Computer-assisted distal radius osteotomy. *J Hand Surg Am.* 2003,28:951-8.
- Bakri K, Moran SL.** Thumb carpometacarpal arthritis. *Plast Reconstr Surg.* 2015, 135:508–20.
- Batra S, Kanvinde R.** Osteoarthritis of the thumb trapeziometacarpal joint. *Curr Orthop.* 2007, 21:135–44.
- Berdia S, Wolfe SW.** Effects of scaphoid fractures on the biomechanics of the wrist. *Hand Clin.* 2001, 17:533-40.
- Berger RA, Bishop IT.** A fiber-splitting capsulotomy technique for dorsal exposure of the wrist. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 1997, 1:2-10.
- Berger RA, Bishop AT, Bettinger PC.** New dorsal capsulotomy for the surgical exposure of the wrist. *Ann Plast Surg.* 1995, 35: 54-59.
- Bertelli J, Soldado F, Ghizoni MF, Rodríguez-Baeza A.** Transfer of a Terminal Motor Branch Nerve to the Flexor Carpi Ulnaris for Triceps Reinnervation: Anatomical Study and Clinical Cases. *J Hand Surg Am.* 2015, 40:2229-2235.
- Biswas D, Wysocki RW, Fernandez JJ, Cohen MS.** Local and regional flaps for hand coverage. *J Hand Surg Am.* 2014, 39:992-1004.
- Bozentka DJ.** Implant arthroplasty of the carpometacarpal joint of the thumb. *Hand Clin* 2010. 26:327-37.
- Bronstein A, Heaton D, Tencer AF, Trumble TE.** Distal radius malunion and forearm rotation: a cadaveric study. *J Wrist Surg.* 2014, 3:7-11.
- Buck-Gramcko D.** Complications and bad results in pollicization of the index finger (in congenital cases). *Ann Chir Main Memb Supérieur Organe Off Soc Chir Main Ann Hand Up Limb Surg.* 1991, 10:506-12.
- Buijze GA, Prommersberger KJ, González Del Pino J, Fernandez DL, Jupiter JB.** Corrective osteotomy for combined intra- and extra-articular distal radius malunion. *J Hand Surg Am.* 2012, 37:2041-9.
- Carlson MG, Warner KK, Meyers KN, Hearn KA, Kok PL.** Mechanics of an anatomical reconstruction for the thumb metacarpophalangeal collateral ligaments. *J Hand Surg Am.* 2013, 38:117-23.
- Cheema TA, Firoozbakhsh K, De Carvalho AF, Mercer D.** Biomechanic comparison of 3 tendon transfers for supination of the forearm. *J Hand Surg Am.* 2006, 31:1640-4.

- Cooney WP, An KN, Daube JR, Askew LJ.** Electromyographic analysis of the thumb: a study of isometric forces in pinch and grasp. *J Hand Surg Am.* 1985, 10:202-10.
- Cooney WP 3rd, Chao EY.** Biomechanical analysis of static forces in the thumb during hand function. *J Bone Joint Surg Am.* 1977, 59:27-36.
- Crawford K, Owusu-Sarpong N, Day C, Iorio M.** Scapholunate Ligament Reconstruction: A Critical Analysis Review. *J Bone Joint Surg Am.* 2016, 4:41-8.
- Crisco JJ, Moore DC, Marai GE, Laidlaw DH, Akelman E, Weiss AP, Wolfe SW.** Effects of distal radius malunion on distal radioulnar joint mechanics : an in vivo study. *J Orthop Res.* 2007, 25:547-55
- Davidge KM, Yee A, Kahn LC, Mackinnon SE.** Median to radial nerve transfers for restoration of wrist, finger, and thumb extension. *J Hand Surg Am.* 2013, 38:1812-27.
- Dautel G.** Management strategy for congenital thumb differences in paediatric patients. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* 2017, 103:S125-33.
- Dautel G, Goudot B, Merle M.** Arthroscopic diagnosis of scapho-lunate instability in the absence of X-ray abnormalities. *J Hand Surg Br.* 1993, 18:213–218.
- Degeorge B, Dagneaux L, Andrin J, Lazerges C, Coulet B et al.** Do trapeziometacarpal prosthesis provide better metacarpophalangeal stability than trapeziectomy and ligamentoplasty? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018, 104:1095-100.
- de Roo MGA, Dobbe JGG, Peymani A, van der Made AD, Strackee SD, Streekstra GJ.** Accuracy of manual and automatic placement of an anatomical coordinate system for the full or partial radius in 3D space. *Sci Rep.* 2020,10:8114.
- De Roo MGA, Muurling M, Dobbe JGG et al.** A four-dimensional-CT study of in vivo scapholunate rotation axes: possible implications for scapholunate ligament reconstruction. *J Hand Surg Eur Vol.* 2019, 44:479–487.
- De Smet L, Sioen W, Spaepen D.** Changes in key pinch strength after excision of the trapezium and total joint arthroplasty. *J Hand Surg Br.* 2004, 29:40–1.
- Dréant N, Dautel G.** Development of an arthroscopic severity score for scapholunate instability. *Chir Main.* 2003, 22:90–94.
- Esplugas M, Garcia-Elias M, Lluch A, Llusá Pérez M.** Role of muscles in the stabilization of ligament-deficient wrists. *J Hand Ther.* 2016, 29:166-74.
- Forestier J.** L'ostéoarthritis sèche trapézo-métacarpienne. *Presse Médicale.* 1937, 45:315–7.
- Forli A, Bouyer M, Aribert M, Curvale C, Delord M, Corcella D, Moutet F.** Upper limb nerve transfers: A review. *Hand Surg Rehabil.* 2017,36:151-172.
- Garcia-Elias M, Alomar Serrallach X, Monill Serra J.** Dart-throwing motion in patients with scapholunate instability: a dynamic four- dimensional computed tomography study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2014, 39:346–352.

- Geissler WB, Freeland AE, Savoie FH et al.** Intracarpal soft-tissue lesions associated with an intra-articular fracture of the distal end of the radius. *J Bone Joint Surg.* 1996, 78:357-365.
- Glickel SZ, Malerich M, Pearce SM, Littler JW.** Ligament replacement for chronic instability of the ulnar collateral ligament of the metacarpophalangeal joint of the thumb. *J Hand Surg Am.* 1993, 18:930-41.
- Gondim Teixeira PA, Formery AS, Hossu G et al.** Evidence-based recommendations for musculoskeletal kinematic 4D-CT studies using wide area-detector scanners: a phantom study with cadaveric correlation. *European Radiology.* 2017, 27:437–446.
- Gondim Teixeira PA, Blanc JB, Rauch A, Abou Arab W, Hossu G, Athlani L, Blum A.** Evaluation of dorsal subluxation of the scaphoid in patients scapholunate ligament tears: a four-dimensional CT study. *AJR Am J Roentgenol.* 2021, 216:141-149.
- Goubier JN, Bauer B, Alnot JY.** Traitement de l’arthrose scaphotrapézo-trapézoïdienne isolée par arthrodèse scaphotrapézo-trapézoïdienne: une série de 13 cas. *Chir Main.* 2006;25: 179-84.
- Goubier JN, Duranthon LD, Vandebussche E, Kakkar R, Augereau B.** Anterior dislocation of the shoulder with rotator cuff injury and brachial plexus palsy: a case report. *J Shoulder Elbow Surg.* 2004,13 :362-363.
- Graham TJ.** Surgical correction of malunited fractures of the distal radius. *J Am Orthop Surg.* 1997, 5:270-281.
- Hagert E, Forsgren S, Ljung BO.** Differences in the presence of mechanoreceptors and nerve structures between wrist ligaments may imply differential roles in wrist stabilization. *J Orthop Res.* 2005, 23:757–763.
- Hove LM.** Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 1999, 33:423-6.
- Hovius SER, de Jong T.** Bone Grafts for Scaphoid Nonunion: An Overview. *Hand Surg.* 2015, 20:222-7.
- Huang K, Hollevoet N, Giddins G.** Thumb carpometacarpal joint total arthroplasty: a systematic review. *J Hand Surg Eur Vol.* 2015, 40:338-50.
- Jager T, Barbary S, Dap F, Dautel G.** Evaluation of postoperative pain and early functional results in the treatment of carpometacarpal joint arthritis. Comparative prospective study of trapeziectomy vs. MAIA® prosthesis in 74 female patients. *Chir Main.* 2013, 32:55-62.
- Jimenez ML, Hioe SD, Kachooei AR, Shearin JW, Jones CM, Rivlin M.** Single-bundle vs double-bundle (anatomical) reconstruction of the thumb ulnar collateral ligament: Biomechanical study. *Hand (NY).* 2019, 14:483-6.
- Jupiter JB, Fernandez DL.** Complications following distal radial fractures. *Instr Course Lect.* 2002, 51:203-19.

**Kakar S, Breighner RE, Leng S et al.** The role of dynamic (4D) CT in the detection of scapholunate ligament injury. *J Wrist Surg.* 2016, 5:306–310.

**Kalichman L, Hernandez-Molina G.** Hand osteoarthritis: an epidemiological perspective. *Semin Arthritis Rheum.* 2010, 39:465–476.

**Kani K.K, Mulcahy H, Chew FS.** Understanding carpal instability: a radiographic perspective. *Skeletal Radiol.* 2016, 45:1031-1043.

**Kamal RN, Starr A, Akelman E.** Carpal kinematics and kinetics. *J Hand Surg Am.* 2016, 41:1011–1018.

**Kijima Y, Viegas SF.** Wrist anatomy and biomechanics. *J Hand Surg Am.* 2009, 34: 1555–1563.

**Kim DH, Seo KB, Lee SH, Lee HJ, Kang HJ.** Reverse digital artery cross-finger flap for reconstruction of failed finger replantation. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2018, 27: 2309499018816773.

**Kitay A, Wolfe SW.** Scapholunate Instability: Current Concepts in Diagnosis and Management. *J Hand Surg Am.* 2012, 37:2175-2196.

**Kraisarin J, Dennison DG, Berglund LJ, An KN, Shin AY.** Biomechanical comparison of three fixation techniques used for four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011, 36:560-7.

**Kreder HJ, Hanel DP, McKee M, Jupiter J, McGillivray G, Swiontkowski MF.** X-ray film measurements for healed distal radius fractures. *J Hand Surg Am.* 1996, 21:31-9.

**Ladd AL, Huene DS.** Reconstructive osteotomy for malunion of the distal radius. *Clin Orthop Relat Res.* 1996,327:158-71.

**Laulan J.** Rotatory subluxation of the scaphoid: Pathology and surgical management. *Chir main.* 2009, 28:192–206.

**Laulan J, Marteau E, Bacle G.** Wrist osteoarthritis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015, 101:S1-9.

**Leclercq C, Mathoulin C.** Complications of Wrist Arthroscopy: A Multicenter Study Based on 10,107 Arthroscopies. *J Wrist Surg.* 2016, 5:320–326.

**Lee SK, Kubiak EN, Lawler E, Iesaka K, Liporace FA, Green SM.** Thumb metacarpophalangeal ulnar collateral ligament injuries: a biomechanical simulation study of four static reconstructions. *J Hand Surg Am.* 2005, 30:1056-60.

**Leechavengvongs S, Malungpaishorpe K, Uerpaiojkit C, Ng CY, Witoonchart K.** Nerve Transfers to Restore Shoulder Function. *Hand Clin.* 2016,32:153-64.

- Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpairojkit C, Thuvasethakul P.** Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II: a report of 7 cases. *J Hand Surg.* 2003,28:633-8.
- Leffert RD.** Brachial plexus injuries. *J Bone Joint Surg Am.* 2002,84:897-8.
- Leng S, Zhao K, Qu M et al.** Dynamic CT technique for assessment of wrist joint instabilities. *Med Phys.* 2011, 38:S50–S56.
- Lister GD, Kleinert HE, Kutz JE, et al.** Primary flexor tendon repair followed by immediate controlled mobilization. *J Hand Surg Am.* 1977, 2:441–451.
- Loisel F, Chapuy S, Rey PB, Obert L, Parratte B, Tatu L, Lepage D.** Dimensions of the trapezium bone: a cadaver and CT study. *Surg Radiol Anat.* 2015, 37:787-92.
- Löw S, Erne H, Strobl U, et al.** Significance of Scapholunate Gap Width as Measured by Probe from Midcarpal. *J Wrist Surg.* 2017, 06:316-324.
- Lucchina S, Fusetti C, Lazzaro L, Nistor A, Guidi M.** End-to-side innervated sensate radial forearm flap in the hand: A 5-year follow-up. *Hand Surg Rehabil.* 2019, 38:207-10.
- Lussiez B.** Radiological analysis of two types of trapezium cup. About 50 cases. *Chir Main.* 2011,30:S86–S90.
- Spartacus V, Mayoly A, Gay A, Le Corroller T, Némoy-Gaillard M, Roffino S, et al.** Biomechanical causes of trapeziometacarpal arthroplasty failure. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2017,20:1233-5.
- Mat Jais IS, Tay SC.** Kinematic analysis of the scaphoid using gated four-dimensional CT. *Clin Radiol.* 2017, 72:794.e1–794.e9.
- Messina JC, Van Overstraeten L, Luchetti Ret al.** The EWAS classification of scapholunate tears: an anatomical arthroscopic study. *J Wrist Surg.* 2013, 2:105–109.
- Midha R.** Epidemiology of brachial plexus injuries in a multitrauma population. *Neurosurgery.* 1997,40:1182-1188.
- Millesi H.** Surgical management of brachial plexus injuries. *J Hand Surg [Am].* 1977,2:367-79.
- Minami A, Hiroyuki K, Norimasa I.** Scaphotrapeziotrapezoid fusion: long-term follow-up study. *J Orthop Sci.* 2003, 8:319-22.
- Mitsuyasu H, Patterson RM, Shah MA et al.** The role of the dorsal intercarpal ligament in dynamic and static scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2004, 29:279–88.
- Miyake J, Murase T, Yamanaka Y, Moritomo H, Sugamoto K, Yoshikawa H.** Comparison of three dimensional and radiographic measurements in the analysis of distal radius malunion. *J Hand Surg Eur.* 2013,38:133-43.



- Miyake J, Murase T, Yamanaka Y, Moritomo H, Sugamoto K, Yoshikawa H.** Three-dimensional deformity analysis of malunited distal radius fractures and their influence on wrist and forearm motion. *J Hand Surg Eur.* 2012, 37:506-12.
- Munk B, Larsen CF.** Bone grafting the scaphoid nonunion: a systematic review of 147 publications including 5,246 cases of scaphoid nonunion. *Acta Orthop Scand.* 2004, 75:618-29.
- Murphy BD, Nagarajan M, Novak CB et al.** The Epidemiology of Scapholunate Advanced Collapse. *Hand (N Y).* 2018, 01:1558944718788672.
- Narakas AO.** The treatment of brachial plexus injuries. *Int Orthop.* 1985,9:29-36.
- Obdeijn MC, Tuijthof G JM, Van Der Horst C et al.** Trends in Wrist Arthroscopy. *J Wrist Surg.* 2013, 2:239–24.
- Oberlin C.** Les paralysies du plexus brachial de l'adulte par lésions radiculaires. *Chir Main.* 2003,22:273-84.
- Pauchard N, Huguet S, Dap F, Dautel G.** Traitements des cals vicieux extra-articulaires de l'extrémité distale du radius du sujet jeune actif, *Hand Surg and Rehabil.* 2016, 35:99-104.
- Pauchard N, Lecoanet-Strugarek C, Segret J, De Gasperi M, Dap F, Dautel G.** Dorsal locking plates versus staples in four-corner fusion: A comparative clinical and radiologic study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014, 100:593-7.
- Peck FH, Roe AE, Ng CY, Duff C, McGrouther DA, Lees VC.** The Manchester shortsplint: a change to splinting practice in the rehabilitation of zone II flexor tendon repairs. *Hand Ther.* 2014, 19:47–53.
- Pellegrini VD, Burton RI.** Osteoarthritis of the proximal interphalangeal joint of the hand: arthroplasty or fusion? *J Hand Surg Am.* 1990, 15:194–209.
- Pliefke J, Stengel D, Rademacher G et al.** Diagnostic accuracy of plain radiographs and cineradiography in diagnosing traumatic scapholunate dissociation. *Skeletal Radiol.* 2008, 37:139–145.
- Pinder RM, Brkljac M, Rix L, Muir L, Brewster M.** Treatment of Scaphoid Nonunion: A Systematic Review of the Existing Evidence. *J Hand Surg Am.* 2015, 40:1797-805.
- Prommersberger KJ, Van Schoonhoven J, Lanz UB.** Outcome after corrective osteotomy for malunited fractures of the distal end of the radius. *J Hand Surg Br.* 2002, 27:55-60.
- Raimbeau G.** The cost of hand emergencies. *Chir Main.* 2003, 22:258-63
- Rauch A, Arab WA, Dap F, Dautel G, Blum A, Gondim Teixeira PA.** Four-dimensional CT Analysis of Wrist Kinematics during Radioulnar Deviation. *Radiology.* 2018, 289:750-758.
- Ray WZ, Mackinnon SE.** Clinical outcomes following median to radial nerve transfers. *J Hand Surg Am.* 2011, 36:201-8.

**Rehim SA, Kowalski E, Chung KC.** Enhancing aesthetic outcomes of soft-tissue coverage of the hand. *Plast Reconstr Surg.* 2015, 135:413e-28e.

**Rezzouk J, Farlin F, Boireau P, Fabre T, Durandeau A.** La prise en charge des lésions traumatiques du nerf axillaire (83 cas opérés). *Chir Main.* 2003,22:73-7.

**Rimokh J, Benazech B, Lebeau N, Haddad B, Moughabghab M, David E.** Clinical and radiological outcomes of 40 cases of SLAC and SNAC wrist treated by four-corner arthrodesis with locking plate. *Hand Surg Rehabil.* 2020, 39:36-40.

**Robinson CM, Shur N, Sharpe T, Ray A, Murray IR.** Injuries associated with traumatic anterior glenohumeral dislocations. *J Bone Joint Surg Am.* 2012,94:18-26.

**Robles-Molina MJ, López-Caba F, Gómez-Sánchez RC, Cárdenas-Grande E, Pajares-López M, Hernández-Cortés P.** Trapeziectomy with ligament reconstruction and tendon interposition versus a trapeziometacarpal prosthesis for the treatment of thumb basal joint osteoarthritis. *Orthopedics.* 2017, 40:681-6.

**Roukoz S, Naccache N, Sleilaty G.** The role of the musculocutaneous and radial nerves in elbow flexion and forearm supination: a biomechanical study. *J Hand Surg Eur Vol.* 2008, 33:201-4.

**Rundgren J, Bojan A, Mellstrand Navarro C, Enocson A.** Epidemiology, classification, treatment and mortality of distal radius fractures in adults: an observational study of 23,394 fractures from the national Swedish fracture register. *BMC.* 2020, 21:88.

**Safran MR.** Nerve injury about the shoulder in athletes, part 1: suprascapular nerve and axillary nerve. *Am J Sports Med.* 2004,32:803-19.

**Salem H, Davis TRC.** Six years outcome excision of the trapezium for trapeziometacarpal joint osteoarthritis: is it improved by ligament reconstruction and temporary Kirschner wire insertion? *J Hand Surg Eur.* 2012, 37:211-9.

**Short WH, Werner FW, Green JK et al.** Biomechanical evaluation of ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate. *J Hand Surg Am.* 2002, 27:991–1002.

**Short WH, Werner FW, Green JK et al.** Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: Part II. *J Hand Surg Am.* 2005, 30:24–34.

**Short WH, Werner FW, Green JK et al.** Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: part III. *J Hand Surg Am.* 2007, 32:297–309.

**Smaby N, Johanson ME, Baker B, Kenney DE, Murray WM, Hentz VR.** Identification of key pinch forces required to complete functional tasks. *J Rehabil Res Dev.* 2004, 41:215-24.

**Soubeyrand M, Assabah B, Bégin M, Laemmel E, Dos Santos A, Crézé M.** Pronation and supination of the hand: Anatomy and biomechanics. *Hand Surg Rehabil.* 2017, 36:2-11.

**Swanson AB.** Implant resection arthroplasty of the proximal interphalangeal joint. *Orthop Clin North Am.* 1973, 4:1007–29.

**Tang JB.** Indications, methods, postoperative motion and outcome evaluation of primary flexor tendon repairs in Zone 2. *J Hand Surg Eur.* 2007, 32:118–129.

**Tellioglu AT, Sensöz O.** The dorsal branch of the digital nerve : an anatomic study and clinical applications. *Ann Plast Surg.* 1998, 40:145-8.

**Terzis JK, Kostopoulos VK.** The surgical treatment of brachial plexus injuries in adults. *Plast Reconstr Surg.* 2007, 119:73-92.

**Tchurukdichian A, Gerenton B, Moris V, See L-A, Stivala A, Guillier D.** Outcomes of Double-Mobility Prosthesis in Trapeziometacarpal Joint Arthritis with a Minimal 3 Years of Follow-Up: An Advantage for Implant Stability. *Hand (N Y).* 2019, 4:1558944719855690.

**Thien TB, Becker JH and Theis JC.** Rehabilitation after surgery for flexor tendon injuries in the hand. *Cochrane Database Syst Rev.* 2004, 18:CD003979.

**Thorkildsen RD, Røkkum M.** Trapeziectomy with LRTI or joint replacement for CMC1 arthritis, a randomised controlled trial. *J Plast Surg Hand Surg.* 2019, 53:361-9.

**Toffoli A, Teissier J.** MAÏA trapeziometacarpal joint arthroplasty: clinical and radiological outcomes of 80 patients with more than 6 years of follow-up. *J Hand Surg Am.* 2017, 42:838.1-838.

**Tynan MC, Fornalski S, McMahon PJ, Utkan A, Green SA, Lee TQ.** The effects of ulnar axial malalignment on supination and pronation. *J Bone Joint Surg Am.* 2000,82:1726-31.

**Tung TH, Barbour JR, Gontre G, Daliwal G, Mackinnon SE.** Transfer of the extensor digiti minimi and extensor carpi ulnaris branches of the posterior interosseous nerve to restore intrinsic hand function: case report and anatomic study. *J Hand Surg Am.* 2013, 38:98-103.

**Tubbs RS, Oakes WJ, Blount JP, Elton S, Salter G, Grabb PA.** Surgical landmarks for the proximal portion of the axillary nerve. *J Neurosurg.* 2001,95:998-1000.

**Ulrich-Vinther M, Puggaard H, Lange B.** Prospective 1-year follow-up study comparing joint prosthesis with tendon interposition arthroplasty in treatment of trapeziometacarpal osteoarthritis. *J Hand Surg Am.* 2008, 33:1369-77.

**Vadstrup LS, Schou L, Boeckstyns MEH.** Basal joint osteoarthritis of the thumb treated with Weilby arthroplasty: a prospective study on the early postoperative course of 106 consecutive cases. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009, 34:503-5.

**Vermeulen GM, Slijper H, Feitz R, Hovius SER, Moojen TM et al.** Surgical management of primary thumb carpometacarpal osteoarthritis: a systematic review. *J Hand Surg Am.* 2011, 36:157-69.

**Viegas SF, Yamaguchi S, Boyd NL et al.** The dorsal ligaments of the wrist: Anatomy, mechanical properties, and function. *J Hand Surg Am.* 1999, 24:456–468.

**Von Campe A, Nagy L, Arbab D, Dumont CE.** Corrective osteotomies in malunions of the distal radius: do we get what we planned? *Clin Orthop Relat Res.* 2006, 450:179-85.

**Ward PJ, Fowler JR.** Scapholunate Ligament Tears: Acute Reconstructive Options. *Orthop Clin North Am.* 2015, 46:551-559.

**Watson HK, Ballet FL.** The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg Am.* 1984, 9: 358 –365.

**Watson HK, Wollstein R, Joseph E, Manzo R, Weinzweig J, et al.** Scaphotrapeziotrapezoid arthrodesis: a follow-up study. *J Hand Surg Am.* 2003, 28: 397-404.

**Witoonchart K, Leechavengvongs S, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P, Wongnopsuwan V.** Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part I: an anatomic feasibility study. *J Hand Surg.* 2003,28:628-32.

**Wong WYC, Ho PC.** Minimal invasive management of scaphoid fractures: from fresh to nonunion. *Hand Clin.* 2011, 27:291-307.

**Yeo JH, Kim JY.** Surgical Strategy for Scaphoid Nonunion Treatment. *J Hand Surg Asian Pac.* 2018, 23:450-62.

**Zhao K, Breighner R, Holmes D III et al.** A technique for quantifying wrist motion using four-dimensional computed tomography: approach and validation. *J Biomech Eng.* 2015, 137:074501–1–5.

**Zhao G, Wang B, Zhang W, Tang P, Chen C.** Sensory reconstruction in different regions of the digits: A review of 151 cases. *Injury.* 2016, 47:2269-75.

## 9. ANNEXES

**Annexe 1.** Avis du CNU de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique à la suite de l'audition du 12.11.2021.



### CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE

**Stéphane BOISGARD**  
Président

Paul BONNEVILLE  
Didier MAINARD  
Henri MIGAUD  
Hughes PASCAL-  
MOUSSELARD  
Alain SAUTET  
Elvire SERVIEN  
Hervé THOMAZEAU  
Patricia THOREUX

MCU-PH  
Thomas GREGORY  
Xavier OHL

Clermont Ferrand le vendredi 12 Novembre 2021

Monsieur le Chef de Service, Cher collègue, Cher ami.

Nous avons à votre demande, reçu le Docteur Lionel ATHLANI en vue de son inscription sur la liste d'aptitude à un poste de PUPH en chirurgie orthopédique et traumatologie dans votre UFR. Il est à l'heure actuelle PHU dans le service de chirurgie Orthopédique. Il est plus orienté vers la pathologie du membre supérieur et de la main, et il participe activement à la permanence des soins

Dans le domaine de l'enseignement il est particulièrement impliqué dans l'enseignement médical (2eme cycle et 3eme cycle) à la faculté et dans les écoles des professions de santé, ainsi que dans la formation continue avec un score SIAPS de 274

Pour la partie recherche, il appartient à une équipe de recherche labélisée INSERM 1254, et ses travaux ont permis un nombre important de publications de qualité avec un score SIGAPS de 425. Il est titulaire d'une Thèse d'Université depuis 2020, doit soutenir son HDR, et a validé sa mobilité à Genève en 2020-2021.

Suite à cette audition devant les membres de la sous-section, son parcours, a été jugé satisfaisant au regard des exigences de la sous-section, pour un poste de PUPH.

Nous l'encourageons vivement à continuer ses efforts dans le domaine hospitalier, dans celui de la recherche, tout en maintenant son implication dans l'enseignement.

Nous émettons donc **un avis très favorable** à sa candidature, **sous réserve de l'obtention de son HDR.**

Restant à votre entière disposition pour tout ce que vous jugerez utile nous vous adressons monsieur le Doyen, cher collègue, cher ami nos salutations les plus amicales

Professeur Stéphane Boisgard

---

Correspondance : Professeur Stéphane Boisgard  
Université Clermont Auvergne, Hôpital Gabriel Montpied- Service de Chirurgie Orthopédique  
CHU Clermont Ferrand-BP 69- 63003 Clermont-Ferrand Cedex 1  
Tel. 04 73 751 535 - Fax 04 73 751 536  
@ : sboisgard@chu-clermontferrand.fr

---