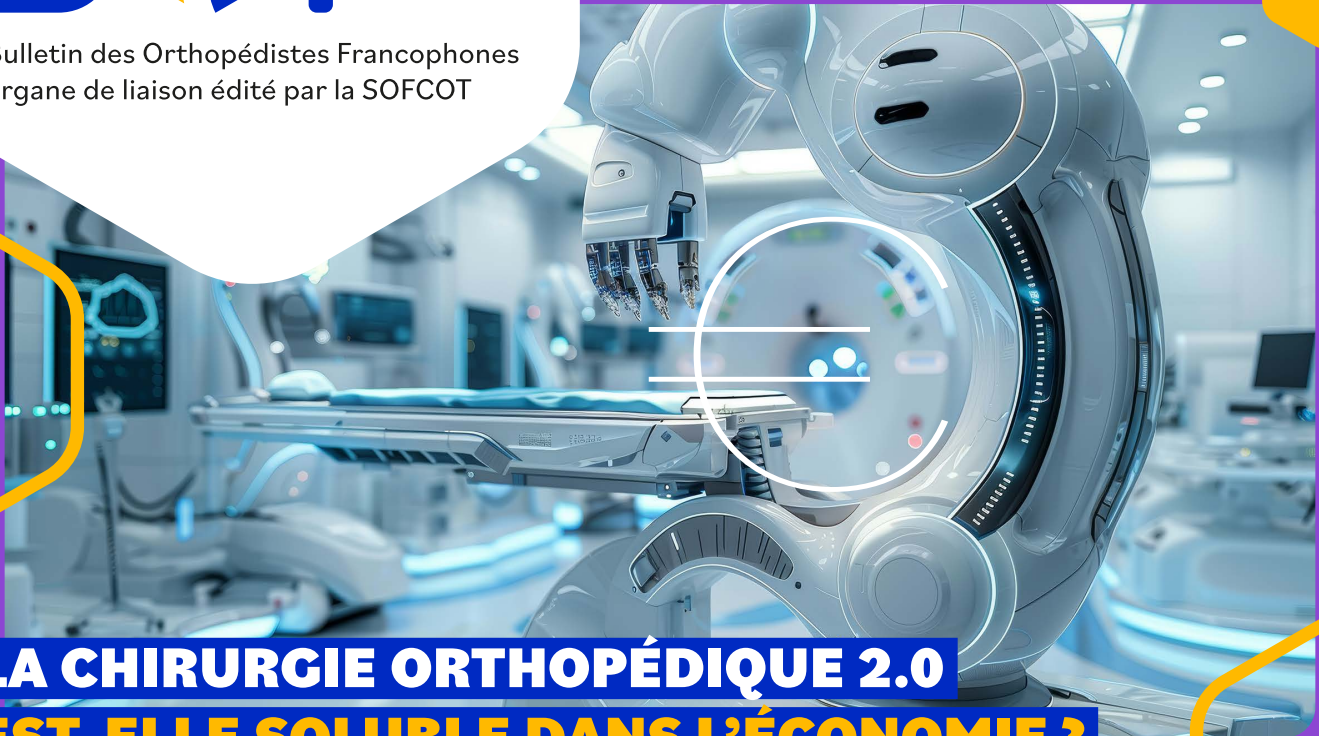




LA CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE 2.0 EST-ELLE SOLUBLE DANS L'ÉCONOMIE ?

sofcot.fr

SOMMAIRE INTERACTIF

ÉDITORIAL

L'orthogériatrie concerne aussi bien
la traumatologie que l'orthopédie programmée... **2**

ÉCONOMIE

Modèle socio-économique français
et chirurgie orthopédique ... **3**

INFORMATION

Droit à l'information : un leurre ?... **10**

CHIRURGIE MILITAIRE

La chirurgie orthopédique militaire
en 2024... **12**

RECHERCHE

Projet de recherche hospitalo-universitaire
RHU ReBone ... **16**

L'équipe **ICARE** ... **17**

Chirurgie personnalisée et prise en charge
massive... : l'exemple des travaux menés
au **LaTIM** ... **19**

Segmentation automatisée de structures
osseuses fracturées en tomodensitométrie
traumatologique ... **20**

L'Institut des Sciences du Mouvement

Etienne-Jules Marey ... **22**

Nouvelles approches des fractures à la
frontière de la visualisation avancée et de l'IA... **23**

Analyse de l'activité pour **l'évaluation de la**
charge mentale... **25**

Abys® Medical : le cloud-computing comme
catalyseur de la chirurgie de précision ... **27**

Newclip Technics au cœur de l'innovation
chirurgicale... **28**

DMH : transformer une valeur
technologique en valeur d'usage... **30**

AGUILA : projet RHU ReBone ... **31**

PÉDIATRIE

Mission d'étude internationale
en orthopédie pédiatrique ... **33**

COMPTES RENDUS

Six mois de stage à New York, USA... **40**

Fellowship de 4 mois à Stuttgart, Allemagne... **42**

Une année-recherche au LTSI, Rennes ... **45**

Un an de recherche en Master 2 à Paris ... **48**

RÉUNIONS SCIENTIFIQUES [Cliquez ici](#)

L'ORTHOGÉRIATRIE CONCERNE AUSSI BIEN LA TRAUMATOLOGIE QUE L'ORTHOPÉDIE PROGRAMMÉE

Il n'est plus besoin d'alerter la population sur l'évolution de notre démographie vers un vieillissement certain. Les statistiques prédictives de l'INSEE envisagent qu'en 2040 un habitant sur quatre aura plus de 65 ans (26 % de la population totale) et 14,5 % auront plus de 75 ans. C'est maintenant.

Les orthopédistes-traumatologues ont déjà pris la mesure de ces modifications dans notre société. À l'échelle d'une carrière chirurgicale, nous avons tous constaté de nombreux changements dans nos prises en charge au quotidien. Nous avons adapté nos pratiques en développant des implants spéciaux pour tenir dans l'os peu résistant : vis verrouillées dans les plaques, enclouages mini-invasifs des fractures pertrochantériennes et de l'humérus proximal. Des solutions palliatives sont proposées comme les prothèses de hanche intermédiaires et l'enclouage trans-plantaire de cheville. Les fractures tassement thoraco-lombaires bénéficient de gestes d'augmentation vertébrale et de vertébroplastie percutanée. Les fractures de fragilité pelvienne sont vissées sous fluoroscopie. Les fractures de cotyle gériatrique sont opérées avec des voies d'abord peu délabrantes. Ces prises en charge sont placées sous le paradigme de la remise en charge immédiate.

Mais ces techniques, procédures, de plus en plus pointues, soutenues par l'industrie, ne sont pas suffisantes pour faire face à la pression démographique croissante. Le besoin fonctionnel et sociétal impose un délai court de prise en charge de la traumatologie et une hospitalisation optimisée. Il est nécessaire de restaurer le plus rapidement possible une autonomie suffisante pour retrouver son domicile. Ce défi ne peut être porté par les orthopédistes seuls.

La traumatologie non programmée, n'est pas seule impactée par l'orthogériatrie. Une large portion de la patientèle de chirurgie orthopédique élective programmée présente les mêmes caractéristiques. S'il est parfois toléré des aléas en traumatologie, inhérents à l'urgence, la chirurgie dégénérative ne souhaite pas s'exposer aux infections, aux décompensations comportementales ou cardio-pulmonaires, aux accidents de décoagulation. Le chirurgien qui propose l'opération a le temps pour

anticiper d'éventuelles complications. On pourrait lui reprocher de ne pas avoir prévu l'imprévisible. Les médecins anesthésistes ne dépistent pas toujours les fragilités du patient. C'est parfois le temps qui manque pour approfondir. Des tensions entre praticiens peuvent apparaître lorsqu'en dernière instance, le patient est contre-indiqué après sa visite préopératoire.

L'orthogériatrie ou « orthoger » est une surspécialité qui comble ce vide fait d'incertitudes. Tantôt consultative, tantôt en unité hyperspécialisée pour encadrer l'hospitalisation, ses bienfaits ne sont plus à démontrer. La SOFCOT développe cette prise en charge particulière fondée sur la multidisciplinarité. Depuis 2013, une place est donnée aux débats orthogériatriques lors du congrès annuel. Restaurée en 2012 sous l'impulsion de Bernard Augereau et de Philippe Merloz, la commission orthogériatrique a produit en 2016 une fiche HAS de pertinence de soin sur la « Chirurgie des fractures de l'extrémité proximale du fémur chez les patients âgés ». En 2017, une analyse nationale des différentes organisations sur le territoire a été réalisée par la commission. Les points clés de l'organisation du parcours de soin « orthogériatrie et la fracture de la hanche » ont été édités par la HAS, issue de la coopération entre la SOFCOT, la SFHG, la SFGG (Société Française de Gériatrie et Gérontologie) et la SFAR. Chaque année, une table ronde est organisée lors du congrès.

C'est année, la commission veut s'ouvrir à la chirurgie programmée. La table ronde aborde la prothèse totale du genou avec le titre suivant : « Réussir ma prothèse totale de genou après 80 ans ». Elle réunira Sabine Drevet (SFGG), Frédéric Aubrun (SFAR), Matthieu Ehlinger (SFHG) et Grégoire Micicoi (CJO). Il nous a semblé fondamental de réunir ces 4 sociétés pour faire l'analyse des points de vue de chacun. Nous voulons établir une sorte de « check list » utile aux moins expérimentés d'entre nous pour optimiser la préparation de cette implantation sur ces terrains fragiles.

Nous vous donnons rendez-vous le lundi 11 novembre 2024, au palais des congrès, porte Maillot, salle 353, de 11:00 à 12:30 pour débattre avec nous des pièges et des astuces pour les éviter.



Jérôme **TONETTI**

Commission Orthogériatrique de la SOFCOT

● UNE CONTRIBUTION FERVENTE

Parmi les professions inscrites au tableau des élites de ce pays, le chirurgien occupe une place de « premier de cordée ».

Toutefois, un examen méritocratique rigoureux indique en durée de formation que, par exemple (pris au hasard), un diplômé de la filière Science Po + ENA (NDLR : depuis janvier 2020, l'école a opéré une démarche cosmétique : déménagement à Strasbourg et nouveau sigle : INSP = Institut National du Service public) achève son cursus à Bac +7, tandis qu'un chirurgien, toutes catégories confondues, n'est opérationnel au minimum qu'à Bac +12. Autrement dit, le premier de cordée soit, encore faut-il prendre en compte le % d'inclinaison de la pente, la durée de l'ascension, la nature des obstacles à franchir pour parvenir au Graal, et au final les réelles responsabilités individuelles à assumer. En effet, il est opportun de rappeler que tout médecin est en relation présenteielle et en position dominante avec son patient, d'où une obligation téléologique qui nous commande de nous départir à chaque acte de toute idéologie, de toute croyance et d'un quelconque intérêt privé. Cette pratique est aussi de nature scientifique : le sujet (nous-mêmes) l'objet (le handicap) doivent rester distincts au risque de ne pas fournir une solution objective tout en sachant qu'elle contient sa part d'incertitude, si bien exprimée en son temps (1781) par Emmanuel Kant dans sa préface de la première édition de la Critique de la raison pure (1781) : « ... *La raison humaine a cette destinée particulière [...] d'être accablée de questions qu'elle ne peut écarter [...], mais elle ne peut pas y répondre...* ».

Enfin, les pouvoirs publics ne sauraient ignorer le rôle économique stimulant de l'ensemble de la profession médicale, épicerie d'emplois de toute nature et soutien de l'industrie de produits que nous utilisons nous-mêmes. En revanche, nous nous distinguons de nos confrères non-chirurgiens par quatre particularités :

- 1/ Un chirurgien applique lui-même les soins en présence de son patient : il passe en moyenne 3 demi-journées au bloc opératoire avec les instruments à la main.
- 2/ Cette incarnation a pour corollaire une responsabilité civile exposée : le taux de sinistralité annuel est là pour nous le rappeler. Une de nos assurances privées [1] avait enregistré 791 plaintes sur la période de 2002 à 2007. En secteur public universitaire, le Service de chirurgie



MODÈLE SOCIO-ÉCONOMIQUE FRANÇAIS ET CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE

Par **Jean-Yves de la CAFFINIÈRE**,
ex-chirurgien des hôpitaux, professeur émérite



En s'engageant dans cette voie, chacun a pu invoquer des motifs variés, dont souvent la rencontre fortuite d'un paragon qui nous a transmis l'envie de faire ce métier. Une raison de fond cependant : un tropisme pour une pratique visible combinée à un exercice intellectuel et moral doté d'une prodigieuse variété de moyens de correction. Pratique visible par sa corrélation étroite entre anatomie et altération de la fonction motrice. Exercice intellectuel et moral ajusté au besoin réel des patients. Sortis de la période de formation, nous prenons vite conscience des nombreuses contraintes éthiques et réglementaires. Quant à nos connaissances, elles doivent être régulièrement renouvelées, car la modernité nous entraîne toujours plus loin. Elle ne touche pas seulement le domaine technique, elle engendre de nouveaux comportements et de nouvelles réglementations qui impacteront un peu plus les futures générations de chirurgiens. Autant, donc, lancer l'alerte avant qu'elle ne nous soit imposée sans y avoir été préparé. Aussi, est-il utile de mettre en perspective les nouvelles

normes auxquelles chaque chirurgien devra se soumettre, avec à la clef les obligations légales qui ne manqueront pas de suivre. Le lecteur qui aurait pu être intéressé par « Innovation et Intelligence humaine » (BOF n° 95, avril 2024, 5-12), trouvera dans le présent article certains aspects déjà mis en relief : ils seront approfondis et élargis. Dans le même esprit, l'artifice de l'expérience par la pensée combinatoire sera étendu aux questions plus générales de notre exercice.

SOMMAIRE

- Une contribution fervente
- Le contrat social et l'ordonnance du 4 octobre 1945
- Désindustrialisation et chirurgie orthopédique
- Le dilemme de la postmodernité
- Sous l'empreinte carbone : le spectre de la soviétisation
- Le modèle socio-économique français peut-il perdurer ?
- Le mal français
- Géopolitique et SOFCOT

orthopédique de Tours [2] relevait 71 plaintes en indemnisation sur 51 582 dossiers de 2007 à 2016.

3/ Nous réinsérons dans le circuit économique et dans leur milieu socio-familial des centaines de milliers de concitoyens dont les fonctions musculosquelettiques avaient été incidemment interrompues alors qu'ils menaient une vie motrice acceptable ou normale. Le graphique de la Figure 1 montre le volume des actes pratiqués sur l'ensemble du territoire (départements ultra-marins et tous GHM inclus) entre 01/01/2015 et 31/12/2022. La Figure 2 les convertit en coût, excepté les frais de prise en charge hors hospitalisation*.

4/ Le hasard créé par la traumatologie nous confronte plus que tout autre au « tout venant » : le contingent gériatrique en hausse constante, l'accidentologie routière toujours plus vulnérante par les véhicules motorisés à 2 roues.

Ils nous mettent en contact direct et imprévu avec ceux de nos concitoyens [3] dont le quotidien a été brutalement interrompu. Et, contrairement aux professions exercées à distance, ils nous imposent une prise en charge globale qui ne se limite ni à la seule gestion d'un dossier, ni même à la mise en œuvre de notre expertise technique.

LE CONTRAT SOCIAL ET L'ORDONNANCE DU 4 OCTOBRE 1945

À partir de cette date, le corps médical français a convenu d'être lié financièrement à sa patientèle et à son éventuel employeur par l'intermédiaire du tiers payant. Solidarité dont l'esprit visait à permettre au patient de consulter sans que sa situation financière soit une entrave et que tout médecin diplômé puisse travailler et décider sans arrière-pensée commerciale. La progression du « reste à charge » a quelque peu rogné les bonnes intentions du début. Les secousses déficitaires cycliques de la CNAM sont en effet là pour nous rappeler que tout acte médical est bel et bien pris en charge par la collectivité nationale, exercice qui relève d'un don d'équilibriste. Aussi, notre activité ne peut-elle se poursuivre telle quelle que pour autant que cet équilibre financier perdure et que ce trio (contribuable- tiers payant-médecin) soit d'accord pour le pérenniser.

*Source : mes remerciements appuyés au Docteur Antoine Rachas du Département des Études statistiques sur les Pathologies & les Patients / CNAM.

Actes d'orthopédie
nombre de patients et de séjours
(en millions)

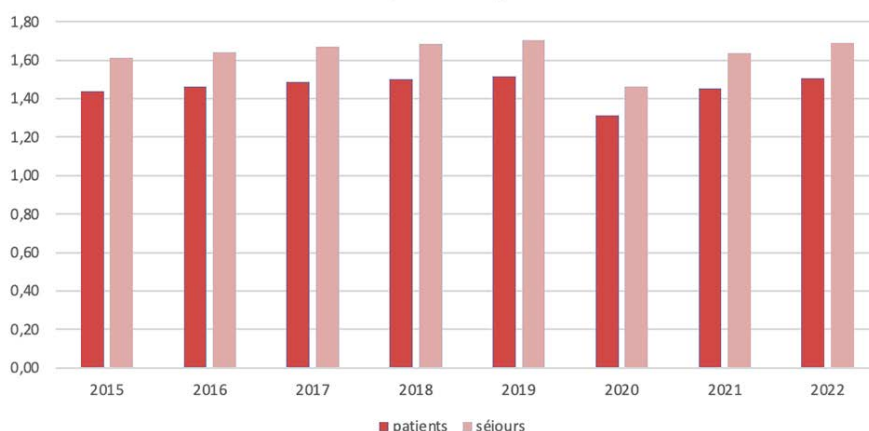


Figure 1

Actes d'orthopédie
montants remboursés et remboursables
(en milliards d'euros)

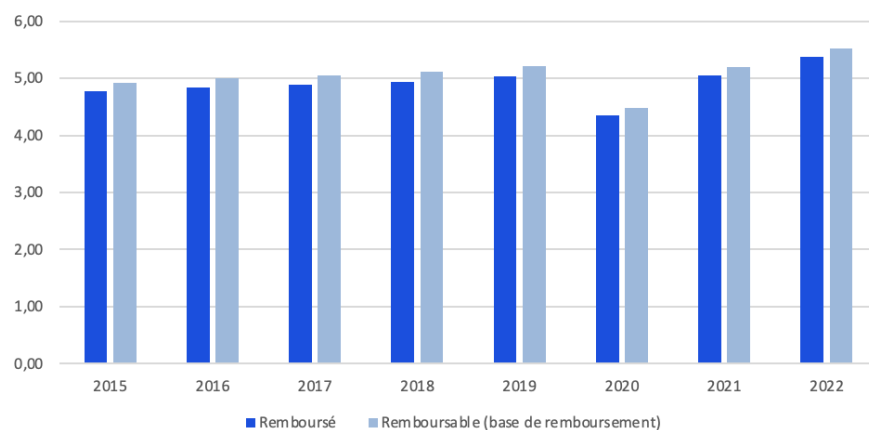


Figure 2

Il n'est pas inutile de noter que la France consacre 33,3 % de son PIB à la protection sociale, soit 834 milliards d'euros par an. Or, il faut bien convenir que parmi les nombreux facteurs identifiables à l'origine de la désintégration du système de santé, se trouve une politique de prise en charge indifférenciée, quelle que soit la pathologie en cause. Ainsi, le taux de remboursement ne pourrait-il pas être indexé sur l'hygiène de vie de chacun ? « Charité bien ordonnée commence par soi-même » avait dit François Bartélémy Arlès-Dufour (1797-1872). Dit plus crûment : si vous comptez sur la solidarité nationale, commencez par corriger vos intempérances : alimentation trop riche, tabac, alcool et autres drogues psychotropes...

Un sujet brûlant d'actualité : les actes (chimiques ou chirurgicaux) à visée transgenre (XX vers XY et vice versa) inscrits à l'ALD 31 (décret Roseline Bachelot du 8/02/2010). À cet effet je reproduis, pour le lecteur qui ignorerait leur contenu, les articles 1 et 3 de l'ordonnance du 4 octobre 1945 portant organisation de la Sécurité sociale :

Art. 1 : Il est intitulé que l'organisation de la Sécurité sociale est destinée à garantir les travailleurs et leurs familles contre les risques de toute nature, susceptibles de réduire et de supprimer leur capacité de gain, à couvrir les charges de maternité et les charges de famille qu'ils supportent.

Art. III : les CPAM, assurent la gestion des risques de maladie, maternité, décès, les risques d'accident du travail et de maladie professionnelle.

Rien d'autre !

● DÉSINDUSTRIALISATION ET CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE

En à peine quelques dizaines d'années, j'ai vu se déporter une partie de notre apprentissage technique de l'établi d'anatomie joint au compagnonnage de la salle d'opération au profit de démonstrations dans le vestibule des centres de congrès. Au dernier congrès de novembre, sur les 71 stands ayant un lien direct avec le matériel orthopédique, on comptait 17 entreprises françaises pour 54 étrangères, soit 24 % encore viables. Toutes sont de courageuses petites entités, mais loin des capacités dont disposent les mastodontes étrangers.

Le désistement industriel et ses effets sur notre spécialité chirurgicale ont touché les entreprises pharmaceutiques comme on l'a récemment vu à l'occasion de la pandémie COVID-19. Il impacte depuis longtemps notre capacité à fabriquer nous-mêmes les produits dont nous sommes parfois les inventeurs, mais que par défaut nous confions à des firmes étrangères. Cette perte de souveraineté a pour conséquence un apprentissage de techniques opératoires inspirées du modèle anglo-saxon par l'intermédiaire du matériel utilisé. Je vous renvoie aux démonstrations instrumentales effectuées sur les stands commerciaux. Cette standardisation opératoire n'est pas sans influence sur le style et les modalités de pratique sur champ opératoire. Bien sûr, la tendance naturelle est d'aller vers un alignement technique guidé par les mêmes repérages numérisés. Toutefois, on peut regretter que notre savoir-faire chirurgical adossé à plusieurs générations d'enseignants soit ainsi englouti. Je pense en particulier aux confrères étrangers qui venaient admirer le « *french touch* ». Elle était fondée sur notre parfaite connaissance des filières anatomiques exsangues, conjuguée à l'usage de techniques basées sur la simplicité et le bon sens. Vu l'état actuel de notre industrie nationale, il me semble que la SOFCOT pourrait impulser un certain nombre de recommandations :

- 1/ Intéresser les internes au monde de l'entreprise du matériel chirurgical.
- 2/ Enseigner les bases industrielles de la production des instruments et des implants.

- 3/ Montrer le long chemin qui conduit d'une innovation à sa réalisation puis à sa mise sur le marché.
- 4/ Instruire les apprentis chirurgiens au bon usage des instruments de base (un ciseau à frapper et un ostéotome - bien que d'apparence semblable - n'ont pas la même fonction). Dans une autre vie, dès les premiers jours du stage des internes, mon premier cours portait sur l'instrumentation.
- 5/ Alerter la classe politique sur la misère des entreprises françaises de l'instrumentation chirurgicale en vue de promouvoir des projets où notre profession pourrait s'associer à la réduction du déficit du commerce extérieur.
- 6/ Participer nous-mêmes au programme « éco-soins » : privilégier le réutilisable (exemple caricatural : retour au badigeonnage cutané avec une compresse pliée en quatre à l'extrémité d'une pince longuette), entrer dans le programme circulaire [4] de recyclage de l'instrumentation fatiguée, des implants implantés.

Encore faudrait-il qu'à la base, la sélection des candidats aux études médicales commence aux épreuves du baccalauréat : en 2023 : 91 % de réussite tandis qu'à l'examen de première année : 15 à 20 %. Réduire l'écart entre ces deux chiffres (en abaissant le premier) conduirait à nous faciliter la tâche de sélection et donc faire entrer en médecine un plus grand nombre de candidats filtrés sur le seul critère de qualité. Notre classement PISA (Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves, 23^e en 2023) monterait alors en flèche et on verrait se manifester de futurs confrères aptes à jouer un rôle créatif. À force d'entretenir le fantasme de l'égalitarisme contre nature, les « pédagoges » du 110 rue de Grenelle ont oublié que c'est le dépassement de soi qui a permis aux hussards noirs de la III^e République de vaincre l'illettrisme. J'ai encore en tête le sentiment désagréable d'avoir parfois déçu quand la formule quasi canonique « *peut mieux faire* » était jointe à la note de calcul sur le bulletin mensuel à faire contresigner...

● LE DILEMME DE LA POSTMODERNITÉ

On ne peut que se féliciter du développement d'une chirurgie de plus en plus précise, moins invasive et surtout plus sécurisée. Il est probable que, bientôt, une partie des actes standards les plus minutieux seront pris en relais par un robot opératoire.

Quand, au cours d'une réunion de service, on proposait une nouvelle technique opératoire hasardeuse à R. Merle d'Aubigné [5] (Fig. 3), il lui arrivait de rappeler : « *ce qui est bon est-il nouveau, ce qui est nouveau est-il bon ?* ». Cet adage n'est pas qu'une simple comparaison technique. Elle interroge non seulement sur le but recherché selon l'intérêt du patient, mais aussi quelle balance avec son coût. Et même moins prosaïquement, sur les effets du post-modernisme : quelles conséquences humaines engendrées par le progrès scientifique et son corollaire le consumérisme ?

De fait, toute nouvelle technique alourdit le coût global de l'acte par l'usage des produits consommables même s'il n'y a pas d'implantation. On estime qu'une chirurgie menée sous arthroscopie coûte 10 fois plus cher que la même conduite selon une procédure conventionnelle sans qu'à distance le résultat soit différent. Aujourd'hui, implanter signifie un matériel ancillaire lourd qui n'est avancé que si l'entreprise choisie y trouve indirectement son intérêt. Nos établissements et surtout les tiers payants pourront-ils continuer à assurer leur prise en charge sans en fixer un jour les limites ?

Les assurés sociaux sans mutuelle sont dépendants de la solvabilité du tiers payant, lié lui-même à la bonne santé de l'économie nationale. D'autres patients pourront sans doute s'offrir une intervention dispendieuse à condition d'accepter (comme aux USA) une franchise élevée. Ainsi, l'acte chirurgical « à valeur ajoutée » risque-t-il de se voir un jour restreint sous la forme d'une liste de chirurgiens seuls habilités



● Figure 3 - Robert Merle d'Aubigné

à pratiquer ces actes, à l'instar de la liste des experts près les tribunaux. Et pourquoi pas un directeur d'hôpital enjoindre à son équipe de chirurgiens orthopédistes de se cantonner à la traumatologie domestique de proximité au moment de l'année où il ne peut plus payer les fournisseurs ?

En poussant à l'extrême l'hypothèse pessimiste d'une dégradation financière du tiers payant, ne risque-t-on pas de voir les jeunes candidats chirurgiens s'orienter vers les spécialités chirurgicales les moins dispendieuses afin de préserver leur liberté de prescription ? Et de fait, à cet égard, la chirurgie orthopédique se trouve parmi les spécialités les plus exposées. Comment leur éviter ce dilemme existentiel ? À nous d'opposer une contrepartie crédible aux tentatives en cours de révision de la nomenclature des actes (parmi les 4 critères requis, je suis toujours étonné qu'on puisse inclure le paramètre « stress » ressenti par des opérateurs encore inexpérimentés, voire mal préparés...) Ainsi, pourquoi pas fournir aux tutelles une liste alternative du coût global des actes opératoires ? Exemples : la capsuloplastie antérieure pour luxation récidivante de l'épaule par arthroscopie *versus* sa technique conventionnelle ; ou encore : prothèse fémoro-patellaire *versus* patelloplastie avec reconstitution du bras de levier rotulien [6] (Fig. 4), en ayant en perspective le sacro-saint libre-choix, l'impératif éthique, et que les résultats à moyen et long terme soient comparables, non sans anticiper sur les éventuelles demandes en réparation que pourrait suggérer cette liste à des avocats mal intentionnés.

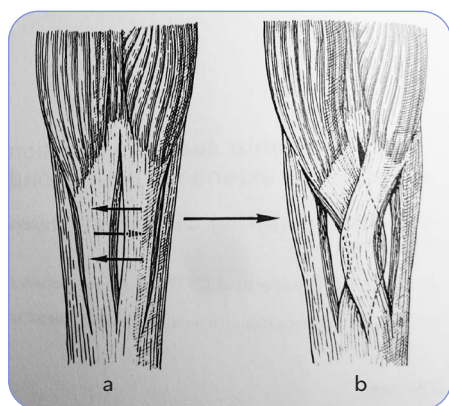


Figure 4 - Patelloplastie après exérèse de la rotule

SOUS L'EMPREINTE CARBONE : LE SPECTRE DE LA SOVIÉTISATION

Depuis quelques années, notre environnement visuel et sonore est abreuvé des notions de « changement climatique », de « gaz à effet de serre (GES) ». En quoi un chirurgien orthopédiste pourrait-il être, un jour, directement concerné dans son exercice professionnel ? De fait, je vois poindre à l'horizon, sous le masque de la vertu civique ostentatoire, un train de normes ruisseler sur chacun d'entre-nous.

• Comme chacun sait, les GES s'accroissent exagérément dans la basse atmosphère. Ils sont principalement issus de la combustion des ressources fossiles terrestres, contribuant ainsi au réchauffement climatique dont plus personne ne conteste l'origine anthropique. L'équilibre naturel du phénomène est normalement assuré par les puits végétaux arborés et les océans qui absorbent jusqu'à 30 % de la concentration des gaz toxiques de l'air. Les météorologistes prévoient que si rien ne change, la température terrestre pourrait dépasser les + 4° C en moyenne dans une cinquantaine d'années. Que 20 % de la surface terrestre serait aussi désertique que le Sahara. L'empreinte carbone est l'unité de calcul qui permet de mesurer l'impact des activités humaines sur l'élévation de la température. Elle peut être calculée à l'échelle d'un État, d'une entreprise, ou d'un individu. Ainsi, un Français émet annuellement entre 7 et 9 tonnes d'équivalent CO₂ (Source : Groupe Intergouvernemental pour l'Étude du Climat).

• L'usage des engrais agricoles émet 2,6 milliards d'e-CO₂, soit 5 % de l'ensemble des émissions à l'échelle planétaire. Le dioxyde de carbone (CO₂) est le GES principal. Il n'est pas le seul : le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote, les fluorocarbures, etc. sont les déchets gazeux des énergies consommées à base du pétrole, du gaz, et du charbon : 8,53 milliards de tonnes/an = 40 % des émissions mondiales de CO₂ par les seuls outils du quotidien, auquel s'ajoute l'usage d'engrais dans la culture agricole intensive et le CH₄ dû à la fermentation digestive bovine. L'empreinte carbone est exprimée en équivalent poids de CO₂ (e-CO₂), quantité génératrice de l'effet chauffant de l'atmosphère terrestre. Ainsi est-il possible de connaître l'empreinte carbone pour la fabrication d'un objet ou de tout moyen utilisé pour nous déplacer, nous alimenter, travailler.

• Le secteur français de la Santé est responsable de 8 % des émissions annuelles de GES, soit 46 millions de e-CO₂/an. La combustion fossile occupe plus de la moitié de l'empreinte climatique du secteur de santé. Et, naturellement, plus les pratiques sont sophistiquées, plus elles convoquent d'énergie pour les effectuer et plus l'empreinte est élevée. Peut-être votre administration a-t-elle déjà calculé l'empreinte produite par votre établissement. Il n'est pas osé de penser que dans un futur très proche tout établissement hospitalier ne manquera pas de faire valoir son évaluation et ses efforts comme image de marque et d'en user comme argument pour obtenir tel ou tel avantage budgétaire auprès des tutelles. Communiqué de presse émis par l'AP-HP le 18 mai 2022 : « L'AP-HP a récemment mis en place une mesure de l'empreinte carbone sur l'ensemble de ses activités et sur des parcours de patients [...] Les premiers résultats montrent que cinq postes d'émissions concentrent plus de 80 % de l'empreinte carbone. »

• Des études commencent à éclore de notre milieu professionnel. Elles nous fournissent quelques premières indications. Ainsi, au bloc opératoire, l'anesthésie est-elle au cœur de l'empreinte carbone. Du côté chirurgical, on retrouve la responsabilité éminente de l'usage des produits consommables. Ce constat est confirmé par l'étude d'une série de réparations arthroscopiques de la coiffe des rotateurs de l'épaule [7] où l'impact carbone de chaque intervention a été estimé équivalente à un déplacement de 60 km en automobile dont plus de 50 % mettent en cause les produits à usage unique. L'implantation d'une prothèse de genou émettrait 190 kg d'e-CO₂, soit l'équivalent d'un trajet Paris-Marseille en avion [8]. Autrement dit, rapporté au 90 000 PTG implantées par an sur le territoire français, le calcul est vite fait. Il donne la dimension du phénomène et donc des mesures qui, un jour ou l'autre, risquent d'être prises en compte par les décideurs politiques. De fait, on ne peut pas exclure (hospitaliers ou libéraux) qu'un jour, il vous soit demandé des comptes sur votre contribution à agir personnellement sur l'empreinte carbone de l'établissement où vous exercez, et que comme vos diplômes ou votre cursus, cet indicateur individuel soit retenu dans les critères d'attribution d'une quelconque amélioration de votre outil de travail...

● LE MODÈLE SOCIO-ÉCONOMIQUE FRANÇAIS PEUT-IL PERDURER ?

Ma génération a traversé l'âge d'or des trente glorieuses où toute initiative était possible. Rien ne laissait présager la moindre limite aux innovations et aux moyens thérapeutiques. Aujourd'hui, notre modèle est-il capable de suivre les avancées techniques et technologiques exponentielles auxquelles nous assistons ? Est-il possible d'offrir le procédé opératoire le plus élaboré dans tous les cas ? Avons-nous les moyens financiers d'effectuer sans discernement l'opération la moins invasive, la plus élaborée pour tout le monde ? Arbitrer un tel dilemme demande expérience et bon sens. Il est arrivé, à nous médecins, de prendre des décisions douloureuses, mais c'était dans le domaine éthique. Pour un fracas ouvert de jambe : une réparation osseuse, vasculaire et musculocutanée *versus* une amputation d'emblée ? Ou encore : une prothèse bilatérale de hanche ou de genou à une personne dont il est prévisible qu'elle ne sortira pas de son fauteuil roulant ?

- L'année 2024 a donné le spectacle d'une crise du milieu agricole pour motif d'injonction de décroissance par la CE tout en maintenant des importations étrangères exemptes de taxations réciproques. Dans les limites mêmes de l'Union européenne, le coût horaire de la main-d'œuvre varie de 1 à 6. Parallèlement, il est enjoint aux agriculteurs d'effectuer une baisse de 55 % des GES (gaz à effet de serre) avant 2030 menaçant le revenu des petits producteurs pourtant seuls garants de la qualité du produit de leur labeur. Pendant ce temps, la Chine émet 32 % des GES de la planète, les E.U. 14 %, alors que l'Union européenne n'en produit que 5 % !

- Quelle analogie avec les préoccupations d'un jeune chirurgien ? La crise de la filière agroalimentaire sous la pression d'une écologie punitive devrait pourtant nous rendre attentifs : harcelé par un matraquage publicitaire à consommer des fruits et légumes hors de saison (au demeurant insipides), l'acheteur est à la fois victime et responsable. De même, le « toujours mieux », exigé par des patients éligibles à faire valoir leurs droits, est-il financièrement tenable ? Les charges imposées aux entreprises industrielles sont-elles compatibles avec une compétitivité internationale féroce alors que, dans ce pays, l'esprit d'innovation ne manque pas de vitalité ? En d'autres termes, le chirurgien de demain ne sera-t-il pas poussé à

un exercice éthique contradictoire ? Ne va-t-il pas être conduit à poser des indications opératoires incluant non seulement les impératifs technique et éthique propres à l'exercice médical, mais également le paramètre financier dans le but de sauvegarder son savoir-faire et celui de préserver notre modèle socio-économique solidaire ?

- Les crises collectives, les conflagrations identitaires auxquelles nous assistons en Europe révèlent au grand jour les excès commis par une politique adepte du saint-simonisme (1760-1825) dont l'idéologie était de privilégier l'économie aux dépens du Politique et, partant, négligeait que la stabilité sociale dépend de l'équilibre entre la modernité et ceux qui font la prospérité et bâtissent l'identité de chaque nation. L'économie doit être à la politique ce que la béquille est à la boiterie. Mais cette méprise suffit-elle pour expliquer le marasme économique et financier qui nous ronge aujourd'hui ? Ne sommes-nous pas nous-mêmes responsables d'avoir (par paresse, par indifférence ou par ignorance) délégué démocratiquement à une supposée « élite » le pouvoir d'imposer des normes contre nature ? C'est ce que la Boétie (grand ami de Montaigne) qualifiait déjà, en 1587, de « servitude volontaire » [9] (Fig. 5).



● Figure 5 - Étienne de la Boétie

● LE MAL FRANÇAIS [10]

L'erreur d'appréciation politique de ces cinquante dernières années a conduit à une désindustrialisation massive [11], à un appauvrissement général masqué par un cortège croissant de charges sociales (32 % du PIB), à un endettement abyssal : 3088 milliards d'€ (116 % du PIB), 55 milliards pour la seule année 2024, à un solde de 124 milliards d'€ du commerce

extérieur. Y a-t-il un seul pays au monde où la consommation a équilibré son défaut de production et surtout garanti son indépendance ? Y a-t-il une corrélation entre sa superficie et son dynamisme économique ?

À la pointe de notre déclin, une maladie auto-immune [12] : la haute administration énarquique formée pour produire des normes, tout en s'appropriant (sous le couvert d'une connivence feutrée) la conduite de l'État, comme si c'était un titre de propriété qui leur était réservé [13]. Mais est-ce bien nouveau ? L'École libre de Sciences politiques, ancêtre (1875) de l'actuelle INPS contenait déjà le germe de son dévoiement. Ernest Renan [14] écrivait à son propos : « ... *Former une tête de société rationaliste [...] peu disposée à laisser périr son privilège au profit d'une foule ignorante...* », faisant écho au jugement émis en 1835 par Tocqueville [14], déjà annonciateur des excès de la 4^e république : « ... *Les démocraties sont naturellement portées à concentrer la force sociale dans les mains du corps législatif...* ». Sous-entendu, il faut l'en empêcher !

L'Histoire de l'humanité est riche d'exemples où l'élan donné par l'innovation a été brisé par un accident de parcours : la guerre (tout en étant moteur de la modernisation technique) a interrompu nombre de cycles civilisationnels. Ainsi, les affrontements entre cités rivales ont conduit Athènes sous la tutelle de Rome. Cinq siècles plus tard, l'Empire romain succombe sous le poids d'une multiplication des fronts armés incompatibles avec une démographie déclinante aggravée par des poussées de peste endémique. Mais la guerre n'est pas la seule cause du frein exercé sur la modernité : au début du 2^e millénaire, les acteurs de l'âge d'or de la pensée arabe (tel Al-Khwarizmi père de l'algèbre) ont dû céder face à l'emprise de la théocratie musulmane. La chape de plomb de la longue période gothique éteignit la lumière de la culture gréco-latine. Il a fallu attendre un millénaire pour qu'arrive la miraculeuse Renaissance. Au même moment, dans l'empire du Milieu (sous la dynastie des Song), les scientifiques (tel Bi-Sheng inventeur de la typographie) ont subi le même sort mais, cette fois, sous le poids de la « bureaucratie céleste » [16].

Autrement dit, à quelques variantes près, les mêmes causes ont produit les mêmes effets suivant une chronologie quasi immuable : les foyers de civilisation se superposent à la géographie des rassemblements humains, lesquels engendrent des richesses matérielles grâce aux innovations

et à l'affairement économique. Pendant un temps, pouvoir et savoir sont intimement liés (les 30 glorieuses), puis arrive la fin du cycle où l'organisation collective, les progrès scientifiques et artistiques sont balayés, soit par un bouleversement venu de l'extérieur, soit du fait d'un dysfonctionnement issu de l'intérieur.

Aujourd'hui, les injonctions à mettre en œuvre des normes au service d'une globalisation néo-libérale débridée accentuent le mouvement généralisé de déculture des sociétés occidentales (wokisme). Les éruptions sociales à répétition ne signifient pas que les peuples européens refusent ces normes, mais qu'elles soient les mêmes pour tous et que, conjointement, la singularité de chaque nation soit respectée. « *Vérité en deçà des Pyrénées, erreur au-delà* » disait Pascal. Nos dirigeants donnent le sentiment de décider non pas selon une réalité qui crève les yeux, mais selon la représentation qu'ils s'en font, allant jusqu'à confondre gestion des choses et gouvernement des hommes. Vue de l'endroit où on l'observe, la scène bruxelloise s'apparente à l'allégorie des personnages de la caverne de Platon (la république) qui pensaient voir la vraie vie sur des images projetées (Fig. 6). Et pourtant, les caciques de l'UE auraient dû se souvenir que c'est bien en préservant les singularités régionales que l'Empire romain a tenu durant 450 ans (27 av. JC jusqu'à 476).

Contrairement au monde anglo-saxon où c'est l'utilitarisme qui prédomine, ce sont les symboles qui l'emportent dans le monde latin. Il est aussi possible que la communication par le langage parlé dit « globish », utilisé dans ces enceintes européennes, en se limitant à cette « langue de service », écrêtant les « langues de culture » contribue mécaniquement à émettre des normes elles-mêmes désincarnées.

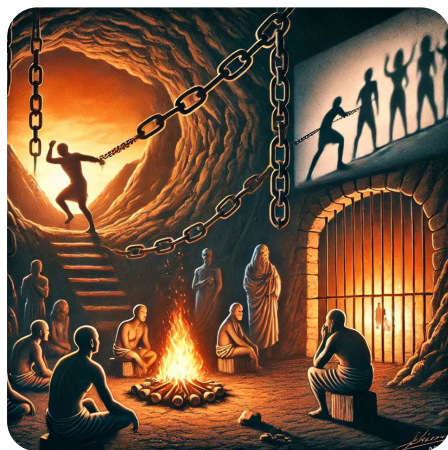


Figure 6

● GÉOPOLITIQUE ET SOFCOT

Ainsi, serait-il inconséquent d'appréhender l'avenir de notre spécialité chirurgicale en la décorrélant du contexte économique et politique dans lequel nous baignons. On voit bien que se dégage une impression d'irréfragable frontière entre le désir bien naturel d'une amélioration sans limite des soins que nous pratiquons et le mur que nous opposent les restrictions financières collectives. Les crises sociales à répétition nous rappellent qu'un 3^e paramètre est trop souvent négligé : la singularité des peuples. Ni la globalisation qui vise à l'intégration des économies sur toute la surface du globe et encore moins la mondialisation qui renvoie à sa dimension politique et culturelle ne fournissent une réponse satisfaisante à la diversité des groupes humains. Le monothéisme chrétien a engendré (non sans quelques convulsions) la démocratie, puis institutionnalisé la solidarité (à la place de la charité). C'est le socle identitaire commun aux nations occidentales.

Mais ce paysage apparemment homogène est en réalité démenti par une séparation entre celles dont la prospérité passe avant l'identité et celles pour lesquelles l'identité culturelle passe avant la prospérité. L'Allemagne dont l'approche reste avant tout normative appartient au premier groupe. La France, comme la Grèce, l'Italie ou l'Espagne, appartient au second. Cette subdivision rappelle beaucoup la distinction classante nées à la fin du XIX^e siècle dans le domaine des sciences sociales : les normativistes *versus* les naturalistes. Les premiers s'attachent aux normes, les seconds à la réalité. Distinction, qui exprime bien la différence de mentalité avec nos voisins et amis d'outre-Rhin. Chacune des deux nations doit préserver ses différences culturelles. Les additionner est la garantie d'une Europe des nations sans équivalence ailleurs.

Quand un Américain crée une entreprise, il ne s'embarrasse ni de dialectique, ni du mémoriel. Ses premières questions sont : « combien ? » et « comment ? ». Le Français se demande d'abord : « où ? » et « pourquoi ? ». La diffusion sans frontières de la communication numérique a semblé un moment pouvoir contourner cette différence ontologique structurelle. Ce n'était qu'une chimère entretenue par des technolâtres agités. De plus, l'Histoire nous démontre qu'une civilisation ne parvient jamais à s'imposer complètement à une autre par la force. Seule l'adhésion individuelle peut générer une sincère communion. La

période gallo-romaine et le lien qui a suivi entre judéochrétienté et culture gréco-latine en sont de beaux exemples. Mais, entre colonisation et assimilation choisie s'est immiscé un nouveau phénomène intermédiaire. Il progresse sournoisement, c'est la submersion démographique dont certains ne veulent pas voir la dangerosité.

Autant au lendemain de la 2^e guerre mondiale était-il justifié de penser l'Europe en commençant par le levier économique, autant changer de cap à mi-parcours aurait évité qu'elle ne se perde dans une marchandisation globalisée engendrant comme aujourd'hui un enjeu existentiel. Car, de la globalisation à la déterritorialisation du pouvoir politique, il n'y a qu'un pas. En donnant une existence juridique à l'UE, cette étape a été franchie avec le traité de Lisbonne (13/12/2007). Or pour le peuple français, et en dépit des secousses qui ont parsemé son parcours, son identité, son histoire, sa langue, sa culture, son mode de vie, son organisation sociale sont enracinés dans un inconscient cognitif qui a commencenté avec le sacre de Clovis en 498 (Fig. 7).

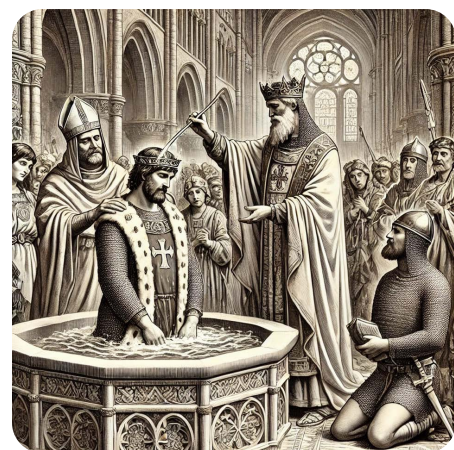


Figure 7

Napoléon Bonaparte aurait dit : « *Je suis de tempérament monarchique et d'esprit républicain !* ». Il fut l'un de nos rares dirigeants à avoir en effet compris le poids de cet inconscient cognitif culturel, au point même d'avoir réussi à convaincre des centaines de milliers de Français (à tort ou à raison) de le suivre jusqu'au Caire et à Moscou. Après lui, rares sont ceux à avoir atteint le sommet de l'état (dans des circonstances sans doute incomparables), mais ayant en commun d'avoir été habités par « l'imaginaire français » [17]. Malheur à ceux qui ne prennent pas en considération les 16 siècles enracinés sur d'éclatantes réussites alternées à des cicatrices restées chéloïdes, ils risquent de déclencher le

chaos si jamais le peuple a le sentiment qu'on veut le déposséder de cet héritage et, pire, que ceux qui sont censés être des guides éclairés se révèlent être, non pas la solution, mais le problème, voire la cause.

L'asphyxie normative issue de l'administration ne date pas d'hier. Balzac [18], dans son ouvrage « les employés » (1878) y faisait déjà une description clinique de l'irrépressible viscosité de l'administration : « ... Elle s'épouvante de tout, perpétue les lenteurs, les éternise [...] elle tient tout et même le ministre en lisière ... ».

De fait, si rien ne change, tout est toujours en place pour faire craindre une extension de normes restrictives dans les secteurs les plus variés, y compris une immixtion dans notre libre choix thérapeutique, et même jusqu'à nous déposséder de notre organisation professionnelle à la française : « il faut être familier d'une chose pour la penser correctement » avait dit Denis Diderot, et Albert Einstein d'enfoncer un peu plus le clou : « il ne faut pas compter sur ceux qui ont créé les problèmes pour les résoudre »...

Jean-Yves de la CAFFINIÈRE
www.jean-yves-delacaffiniere.com

NDLR : Le lecteur pourra également prendre connaissance de la parution du dernier ouvrage de Jean-Yves de la Caffinière qui reprend les idées défendues par l'auteur au travers des nombreux articles déjà publiés depuis octobre 2021 dans le Bulletin des Orthopédistes Francophones.



Cet ouvrage propose un inventaire des champs d'application de la transcendance visant à rappeler au lecteur le célèbre conseil socratique : « connais-toi toi-même ».



Références

- [1] Aralberti R. et coll. *Dimensions du risque de la chirurgie orthopédique en activité libérale*. Rev. Chir. Orthop. et Trauma. 97, 3, 348-358, 2011.
- [2] Argout C. et coll. *Épidémiologie de la sinistralité dans un Service de chirurgie orthopédique en CHU, rétrospective sur 10 ans*. Rev. Chir. Orthop. et Trauma. 104, 1, 10-14, 2018.
- [3] Guilly Ch. *La France périphérique*. Flammarion, 2024.
- [4] Mc Donough W. and Braungart M. *Cradle to cradle (créer et recycler à l'infini)*. Alternatives, 2011.
- [5] Caffinière J.-Y. (de la). *Robert Merle d'Aubigné (1900 -1989), chirurgien bâtisseur*. Harmattan, 2021.
- [6] Caffinière J.-Y. (de la) et Theis J.-C. *Patellectomie avec conservation du bras de levier et de la continuité de l'appareil extenseur*. Rev. Chir. Orthop. et Trauma. 1984, 70, 389-396.
- [7] Rougereau G. et coll. *Estimation de l'empreinte carbone d'une réparation arthroscopique de la coiffe des rotateurs*. Rev. Chir. Orthop. et Trauma. 107, 8, suppl. S294, 2021.
- [8] Delaie C. *Impact écologique de la réalisation d'une PTG*. Thèse-faculté, Marseille, 03/12/2021.
- [9] La Boétie (de) E. *Discours sur la servitude volontaire*. Mille et une nuits, 1997.
- [10] Peyrefitte A. *Le mal français*. Poche, 1979.
- [11] Ansel Ph. et Saint-Étienne Ch. *La France : Déclin ou Renaissance ?* Economica, 2022.
- [12] Julliard J. *Chronique du déclin français*. Albin Michel, 2023.
- [13] Garrigou A. *Les élites contre la République*. La Découverte, 2001.
- [14] Renan E. *La Réforme intellectuelle et morale*. Calmann-Lévy, 1947.
- [15] Tocqueville Ph. (de). *De la démocratie en Amérique*. Gosselin, 1866.
- [16] Balazs E. *La bureaucratie céleste*. Gallimard, 1988.
- [17] Rozès St. *Le Chaos, essai sur les imaginaires des peuples*. Cerf, 2024.
- [18] Balzac H. (de). *Les Employés*. Poche, 1970.



DROIT À L'INFORMATION : UN LEURRE ?

Par **Jean-Yves de la CAFFINIÈRE**,
ex-chirurgien des hôpitaux, professeur émérite



À dater du 4 mars 2002, la loi dite Kouchner engageait la responsabilité juridique de tout praticien s'il ne respectait pas les cinq principales obligations que tout patient est en droit de lui opposer :

- Information et consentement « libre et éclairé » ;
- Exprimer sa volonté vis-à-vis des alternatives proposées ;
- Refuser un traitement ;
- Être accompagné d'une personne de confiance ;
- Accès au dossier médical.

Qui d'entre-nous, après avoir passé du temps en consultation à expliquer à un patient ce dont il souffrait et l'acte opératoire qui lui serait proposé, n'a pas eu la surprise en salle de pré-anesthésie, de l'entendre dire : « alors docteur, expliquez-moi de quoi vous allez m'opérer » ?

Dans la pratique, les épithètes « libre et éclairé » choisis par le législateur soulèvent la question de l'information telle qu'elle est entendue, reçue et réellement assimilée par le patient, ce qui en conséquence interroge sur la valeur de l'accord tacite fourni, même si le formulaire d'accord a été signé. Formulaire qui, au demeurant, ne compte pas beaucoup pour le cas où un magistrat est conduit à traiter un litige. Sur le plan juridique et sémantique « libre et éclairé » suggère que non seulement le patient a été informé (ce dont témoignent les documents produits par le chirurgien) mais qu'il a également compris les explications qui lui ont été fournies lui permettant de prendre librement une décision lourde de conséquences pour lui-même. Or, qui peut apporter la preuve qu'il est suffisam-

ment éclairé, qu'il a la faculté intellectuelle de comprendre ce qu'on lui propose et les effets qui interviendront à moyen et long terme sur son quotidien ? Tout dépend de son niveau linguistique, de son intelligence, de son degré de culture, de l'idée qu'il se fait d'un acte chirurgical. Certains vont en effet d'emblée à la chirurgie, croyant que sa radicalité supplante toujours les méthodes non opératoires.

D'autres font le pari que le risque d'échec (dont la liste leur a été dûment fournie) ne les concerne pas. Et je ne passe pas sous silence l'influence néfaste des récits accrocheurs et auto-laudateurs que l'on trouve sur internet ...

CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE : LES DÉSAGRÈMENTS ENCOURUS

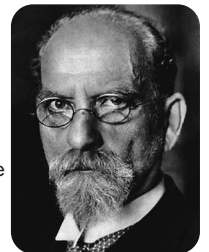
Les domaines de notre spécialité où est engagée la vie des patients est celui des tumeurs malignes et la chirurgie fonctionnelle avec comorbidité sévère. Je m'en tiendrai ici à la majorité : ceux porteurs d'un handicap dont le pronostic vital prévisible est quasi nul. Je mets également de côté le risque aujourd'hui bien maîtrisé de l'embolie pulmonaire létale. Naturellement, avant toute opération, chacun d'entre nous ne manque pas de mettre en relief le risque septique, les descellements de prothèse, les raideurs articulaires, les défauts de consolidation osseuse. Le calendrier des suites opératoires est également fourni : durée d'hospitalisation, premiers pas avec le kiné, conditions de sortie, délai de reprise de la marche sans canne, etc. En revanche, va-t-on assez loin dans le descriptif des désagréments voire des entraves qui vont empoisonner définitivement la vie quotidienne des intéressés ?

Les exemples sont nombreux. Quoi qu'on en dise, un footballeur professionnel ne retrouve que rarement son niveau après une plastie du LCA et quand il y parvient, il le perd rapidement, surtout si une lésion méniscale était associée. À un patient porteur d'une prothèse totale du genou, lui dit-on qu'il ne pourra pas récupérer une flexion complète et l'incidence ergonomique d'une flexion inférieure à 95° ? Et que s'il retrouve une marche normale, en revanche il lui est déconseillé de se remettre au jogging. Qu'après une arthrodèse lombaire, il devra demander à son épouse de lui couper les ongles des orteils ! Je suppose que tout médecin rééducateur a en tête la graduation des entraves fonctionnelles appliquées au mode de vie quotidien de leurs patients.

Ainsi, pour que la confiance ne soit pas altérée, il faut expliquer que si la chirurgie fournit un bénéfice indiscutable, il n'en reste pas moins que dans bien des cas, tout ne va pas revenir comme avant en dépit du succès de l'opération qui a été effectuée. Attention donc à la contradiction entre la perfection annoncée du résultat et au final les défauts qui vont se démasquer. Ils ne peuvent que générer des ressentiments d'abord dissimulés, mais qui peuvent se démasquer violemment à tout moment.

PHÉNOMÉNOLOGIE EN PATHOLOGIE

La phénoménologie est un courant de pensée fondé par Edmund Husserl (1859-1938, photo) [1], mathématicien austro-hongrois intéressé par les fondements de la logique. La démarche philosophique vise à analyser les faits à partir de l'expérience consciente telle qu'elle est vécue, ressentie et exprimée. Elle se concentre donc sur ce qu'est d'exister dans le monde où nous vivons en tant que personne en réaction à l'approche philosophique abstraite, bien trop souvent absconse.



Et, contrairement à la psychologie qui en étudie les manifestations et ses conséquences, la phénoménologie recherche et analyse la signification et la représentation des faits tels qu'ils nous apparaissent, chacun le faisant avec un appareil sensoriel qui varie d'un individu à un autre. Ainsi, tout ce que nous percevons, passe par notre subjectivité, donc notre mode de vie, notre éducation, nos mœurs, nos jugements. La pensée phénoménologique s'est développée tout au long du XX^e siècle dans différents secteurs de la réflexion philosophique comme le temps (Heidegger), le rire (Bergson), la liberté (Sartre), la banalisation du mal (Arendt), autrui (Levinas), la volonté (Ricoeur).

Pourquoi la phénoménologie est-elle une approche légitime en pathologie ?

Il y a d'abord une approche dite naturaliste, qui n'est rien d'autre que ce que nous pratiquons tous les jours : l'approche du dysfonctionnement anatomique ou biologique exprimé en termes techniques. Souffrir d'une coxarthrose se manifeste par une boiterie douloureuse. Ces paramètres objectifs sont exprimés à la troisième personne : le patient est atteint d'une coxarthrose rapporte l'interne en présentant le futur opéré. Mais cette présentation est-elle complète ? Certes non car, quand l'interne fait sa présentation, l'intéressé lui se voit marchant avec difficulté dans la rue sous le regard curieux, voire apitoyé, des passants et l'humiliation ressentie que génère son état d'infériorité physique.

En quoi ce mode de pensée phénoménologique est-il utile en pathologie de l'appareil moteur ?

Parce que la part du ressenti vécu fournit l'idée que le patient se fait de la pathologie dont il est atteint et des effets concrets produits dans sa vie de tous les jours. En se cantonnant à une approche seulement objective de ces effets, le praticien se coupe de la part subjective impliquant l'interprétation du patient et donc des moyens qu'il utilise pour y pallier. Quand un patient vient nous demander conseil pour une entrave locomotrice, nous devons intégrer que le temps et l'espace sont radicalement différents du nôtre : une distance à parcourir, une pente à gravir, des escaliers sans rampe peuvent se révéler des obstacles insurmontables. Ses projets de déplacement impliquent donc qu'il doit les anticiper et s'organiser pour les esquiver. Et c'est en pensant à ces obstacles que le patient décrypte la proposition thérapeutique qui va lui être soumise. Ces informations supplémentaires permettent au praticien de trier ce qui est bon ou pas et donc mieux circonscrire son indication thérapeutique, à commencer par décider s'il faut opérer ou pas. Ce croisement de matrice, que le praticien effectue tous les jours sur le terrain, entre ce qui est visible et ce qui ne l'est pas a été omis par le législateur en choisissant les termes « libre et éclairé » pour encadrer le droit à l'information des patients. La loi du 4 mars 2002 contient une zone grise, source de controverses quand le dossier arrive en justice.

● L'APPLICATION À NOTRE EXERCICE

La position dominante que nous occupons vis-à-vis des patients doit être amendée par notre empathie. Il faut donc que le praticien fasse l'effort de s'extraire du langage naturaliste lié à sa spécialité. Le point de vue naturaliste exprime la maladie dans sa seule réalité anatomique et biologique sans

vraiment tenir compte des changements générés par l'effet du handicap dans la vie quotidienne du patient. Or, c'est justement en dépassant cette approche strictement objective de la pathologie que le praticien peut connaître les effets concrets de la pathologie en cause, en mesurer le degré, et établir un lien de confiance avec son patient.

Une opération chirurgicale est une expérience transformatrice [2] puisqu'elle fait passer le patient d'un état « X » à un état « Y ». Expérience par intrusion qui ne saurait être connue par lui tant qu'il ne l'a pas vécue. Par exemple, le remplacement d'une articulation altérée du genou par des pièces artificielles. Il lui est impossible de prédire la manière dont certaines conséquences vont affecter son corps, et c'est précisément le résultat de cette enquête phénoménologique qui lui permettra de simuler l'état « Y », sans qu'il l'ait encore vécu. Il lui est en effet impossible de prendre librement une décision rationnelle car il lui manque quelques pièces du puzzle. C'est au praticien de les extraire et de les décliner. Par quels moyens ?

1/ Le langage est la première étape. Quand un patient franchit le seuil de la pièce de consultation, le chirurgien doit être capable d'identifier la personne qui vient d'entrer : la manière dont il se présente, sa connaissance de la langue, les vêtements qu'il porte, le récit qu'il fait de ses troubles. C'est à partir de ces éléments apparemment anodins que va être choisie l'expression lexicale adéquate. De son côté, le sens des paroles reçues par l'intéressé peut prendre une dimension variable selon les mots utilisés, la chaleur de la voix qui les accompagne ou pas.

2/ L'enquête ergonomique est évidemment au centre de l'interrogatoire dans notre spécialité chirurgicale : appartement ou maison ? Etages ou pas ? Entourage familial ou pas ? Aide à domicile ? Moyens financiers ? Mode de vie ? Etc.

3/ Le contexte culturel observé par le praticien expérimenté va donc intervenir, non pas tant dans le choix de la méthode thérapeutique, mais dans le moment et les conditions de sa mise en œuvre. C'est pourquoi, lors d'une situation complexe justifiant une indication opératoire lourde de conséquences, il est conseillé de ne pas prendre de décision à la première consultation et, pour la suivante, de demander au futur opéré d'être accompagné par un tiers, de préférence un membre de la famille. Un exemple caricatural : une indication d'allongement bilatéral de jambe. Je me souviens d'avoir dû interrompre en catastrophe le programme effectué avec le dispositif d'Illizarov à une jeune fille qui tenait pourtant à

gagner 5 centimètres. Je n'avais pas mesuré sa capacité à supporter les douleurs.

4/ le contexte socio-professionnel se doit d'être pris en considération avec une particulière acuité. Autre exemple vécu : un ouvrier du bâtiment, d'origine portugaise, est admis pour une fracture du poignet. Une pseudarthrose ancienne du scaphoïde carpien, dont il ne se plaignait qu'épisodiquement, est découverte fortuitement. Une fois la fracture consolidée, il lui est conseillé une greffe qui ne prendra pas. Résultat : un an de traitement, une reprise, et au final un licenciement agrémenté d'une procédure judiciaire. Un contexte également bien connu : toute chirurgie du rachis quand elle s'inscrit dans un contexte d'accident du travail.

5/ L'approche normative [3] du handicap introduit la manière dont la société perçoit celui qui en est atteint et l'effet qui est perçu par l'intéressé. La norme est que le handicap est considéré comme un fait négatif : arrêt de travail, dépendance financière par la solidarité nationale, licenciement, solitude, dépression, alcoolisme, divorce, etc. Tous ces paramètres et leurs effets concrets doivent être également pris en compte au moment de l'indication opératoire. Nous, chirurgiens, ne sommes pas assez sensibles au fait qu'un handicap moteur (même mineur) crée immédiatement une asymétrie entre ceux qui en souffrent et le reste bien portant de la société. Pour les intéressés, ce qui leur est personnel et intime devient extériorisé, exposé au regard indiscret de tous. Le passage d'une boiterie masquée à l'usage d'une canne en est l'illustration la plus flagrante.

Plus largement, médecins et patients sont tous confrontés à l'incertitude du futur. En situation de crise, une approche transcendante sur soi-même s'opère. Et dans la loi du 4 mars 2002, cette part incommensurable et invisible de la personne est réduite aux termes vagues que sont « libre et éclairé ». Bien que vertueux, le dessein législatif se voit faussé pour s'en être tenu au seul contenu visible de la pathologie.

Jean-Yves de la CAFFINIÈRE
www.jean-yves-delacaffiniere.com

Références

- [1] Husserl E. *Normativité et déconstruction*. Vrin, 2020.
- [2] Carel H. *Philosophie concrète*. Vrin, 2022.
- [3] Merleau-Ponty M. *Phénoménologie de la perception*. Gallimard, 1945.



LA CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE MILITAIRE EN 2024

Par **Frédéric RONGIERAS**, Professeur Agrégé du Val de Grâce

Depuis la création du Service de Santé des Armées sous Louis XIV (Édit de janvier 1708), la présence de chirurgiens a toujours été importante tant sur les champs de bataille que dans les structures de soins hospitalières.

Si nous avons eu de très illustres chirurgiens durant les guerres napoléoniennes (Percy, Larrey, Desgenettes et Begin), la guerre de Crimée (Baudens, Scrive et Legouest) ou pendant la première guerre mondiale (Rouvillois, Calot), ce n'est qu'à partir des années 1960 et 1970 que s'est individualisée la spécialité de chirurgie orthopédique au sein des hôpitaux militaires.

L'évolution des structures hospitalières, calquée sur l'organisation hospitalière civile, a imposé une spécialisation, voire une sur-spécialisation de ses praticiens, qui ont suivi une formation académique universitaire équivalente à nos confrères civils.

Nous proposons de refaire le point sur l'organisation actuelle de l'orthopédie militaire, sur ses effectifs, sur les structures de soins existantes, sur la formation de ses praticiens, mais également sur ses missions aussi bien en métropole que sur des théâtres d'opérations extérieurs.

● LES CHANGEMENTS

À la suite de la décision du président Jacques Chirac, le 28 octobre 1997, le service national obligatoire a été « suspendu ». Les derniers médecins aspirants, appelés

du contingent, ont disparu des hôpitaux militaires en novembre 2001. Cette fin de la conscription a été déterminante dans l'évolution des hôpitaux militaires. Jusqu'alors, les hôpitaux militaires accueilleraient essentiellement les appelés du contingent et les militaires de carrière ou les anciens combattants (ayant droits obligés) pour leur prise en charge, leurs familles mais pouvaient également accueillir des civils hors ministère de la Défense. Cette population de patients civils était de fait minoritaire.

Le ratio civil/militaire s'est inversé dès cette fin de la conscription, obligeant le Service de Santé des Armées (SSA) à suivre les règles civiles de la tarification à l'acte.

Les contingents étant moins fournis et la fin de la conscription attendue, les structures de soins hospitalières ont progressivement été fermées.

En 1985, il existait encore 25 hôpitaux militaires dont 6 en dehors du territoire (Allemagne, Tahiti, Djibouti, Sénégal). Ces structures, proches des unités militaires, souvent de petite taille, étaient essentiellement par du personnel appelé du contingent, n'avaient plus la capacité de rester en activité. Ont fermé dans le désordre des hôpitaux militaires comme ceux de Lille, Strasbourg, Colmar, Châlons-en-Champagne, Dijon, Cherbourg, Lorient, Rennes, Bourges, Rochefort, Toulouse, Versailles...

Suites à ces fermetures, il ne restait plus que 9 Hôpitaux d'Instructions des Armées (HIA) :

- Trois en région parisienne : le Val de Grâce à Paris, Begin à St Mandé et Percy à Clamart ;
- Deux en région PACA : Sainte-Anne à Toulon et Laveran à Marseille ;
- Desgenettes à Lyon, Robert Piqué à Bordeaux, Legouest à Metz et Clermont Tonnerre à Brest.

Une réorganisation récente a amené à la fermeture du Val de Grâce en 2016 puis à la transformation des hôpitaux de Lyon (2021), Metz et Bordeaux (2025) avec fermeture des services de chirurgie.

● L'ORGANISATION GÉNÉRALE ACTUELLE

Il reste actuellement 5 hôpitaux avec une capacité chirurgicale propre : Begin et Percy en région parisienne, Sainte-Anne et Laveran dans le sud de la France et Clermont Tonnerre à Brest. Les quelques chirurgiens dépendants des « hôpitaux transformés » de Lyon, Metz et Bordeaux ont été mis à disposition de structures civiles partenaires (Hospices Civils de Lyon, CHR Metz-Thionville et PSPH Bagatelle à Bordeaux).

Seuls deux hôpitaux (Percy et Sainte-Anne) ont la qualification et la structure d'un « Trauma Center de niveau 1 » et participent à ce titre à la carte sanitaire locale.

Ces hôpitaux sont des structures dimensionnées à 300-350 lits en temps de paix avec une activité à la fois centrée sur des spécialités opérationnelles (projetables) comme la chirurgie, la réanimation, la médecine d'urgence, mais aussi la psychiatrie et la rééducation fonctionnelle. Les autres spécialités médicales sont représentées dans une moindre mesure, mais servent à l'expertise dans des domaines divers, notamment d'aptitude des personnels.

Ces cinq hôpitaux conservent des services de chirurgie orthopédique et traumatologique avec des praticiens spécialistes affectés ainsi que des internes et des praticiens en formation.

Nous avons actuellement environ 45 à 50 chirurgiens orthopédistes en activité sur ces hôpitaux avec une quinzaine de praticiens en formation (internes et assistants). Ces services sont également terrains de stage pour les internes civils.

Quelques praticiens sont insérés dans des structures civilo-militaires à Metz-Thionville, à Bordeaux et à Lyon depuis 2018.

Bien que les résultats de ces insertions aient été localement positifs et répondaient au contrat opérationnel, ces insertions sont malheureusement vouées à disparaître car les partenariats sont remis en cause actuellement ou non renouvelés par les tutelles.

Pour les missions, il existe huit antennes chirurgicales constituées (ARCS – Antenne de réanimation et de chirurgie) formées sur un même modèle : un chirurgien tronc (viscéral, thoracique - vasculaire ou urologue), un chirurgien membre (un orthopédiste) renforcé par un chirurgien tête et cou (ORL, maxillo-facial, neurochirurgien, ophtalmologue), un anesthésiste, deux IADE et deux IBODE et des infirmiers de soins généraux. Ces structures sont constituées en général de jeunes spécialistes qui restent affectés en antenne chirurgicale entre 2 et 3 ans et travaillent dans l'un des 5 hôpitaux entre deux missions extérieures.

LE RECRUTEMENT ET LA FORMATION D'UN CHIRURGIEN MILITAIRE

La formation initiale des médecins militaires a évolué au gré des nombreuses réformes des études médicales. La formation des spécialistes a, elle aussi, suivi les modifications diverses des parcours universitaires des 30 à 40 dernières années.

Ainsi, le recrutement d'un médecin militaire se faisait par voie de concours au niveau BAC afin d'intégrer l'une des écoles du Service de Santé des Armées soit à Lyon-Bron, soit à Bordeaux et ceci jusqu'en 2011. La fermeture de l'Ecole du Service de Santé de Bordeaux en 2011 a permis un regroupement de toute la formation initiale (premier et deuxième cycle) des médecins militaires sur la faculté de Lyon, répartis entre les UFR Lyon-Est et Lyon-Sud. L'Ecole de Santé des Armées est devenue, en 2018, l'ensemble des Ecoles Militaires de Santé de Lyon Bron (EMSLB) par ajout des écoles de formation des paramédicaux infirmiers sur le même site.

Jusqu'en 2005, les étudiants en médecine militaire ne pouvaient prétendre à passer l'internat de spécialités. Ils effectuaient alors leur troisième cycle en fonction de leurs futures affectations à Paris à l'Ecole du Val de Grâce, attenante à l'hôpital du même nom, puis des modules de formation complémentaires à Toulon (marine), Marseille (Outre-mer) en fonction de leur future armée d'affectation. Ce n'est qu'après une période d'exercice en unité



● L'antenne de réanimation et de chirurgie de sauvetage (ARCS) de 4^e génération est une structure moderne, légère et mobile qui permet la prise en charge simultanée de 2 blessés graves sur le plan chirurgical et réanimatoire.

militaire de 1 à 3 ans que l'accession au DES était possible via un concours interne de recrutement de spécialité (assistantat des hôpitaux des Armées) validé par un jury universitaire civilo-militaire.

L'Ecole du Val de Grâce s'est transformée en 2024 pour devenir l'Académie de Santé des Armées (ACASAN).

A partir de 2005, et ceci jusqu'à l'année passée (2023) et la réforme du second cycle des études médicales, les étudiants militaires ont pu réaccéder à la spécialisation par la voie de l'internat. Néanmoins, le concours d'assistantat des hôpitaux des Armées était régulièrement utilisé et permettait des recrutements de spécialistes plus tardifs en adéquation avec les besoins de la spécialité. Depuis cette année (2024), comme avant 2005, seuls les praticiens ayants effectués 3 ans de médecine d'unité pourront revenir dans une spécialisation chirurgicale après des études de médecine générale devenues longues : 6 années de premier et second cycle et 4 années de 3^e cycle.

En sus de ce schéma, qui a évolué dans le temps, des recrutements collatéraux ont toujours eu lieu, soit pendant les premier et second cycles, soit après la thèse de médecine. Ces recrutements collatéraux sont possibles comme médecins généralistes, mais aussi comme médecins spécialistes avec des contrats qui peuvent être soit des contrats à courte durée (de deux à cinq ans) comme officiers commissionnés, soit plus longs comme officiers sous contrat (OSC) avec des durées de service de 10 à 20 ans et la possibilité d'accession au statut d'officier de carrière.

Les étudiants en médecine effectuent toute leur scolarité au sein de l'université et bénéficient d'enseignements complémentaires aussi bien sur la chose militaire que sur la spécificité de leur travail au sein des armées. Elèves officiers puis aspirants pendant les deux premiers cycles d'étude, ils deviennent lieutenant pendant leur internat et accèdent au grade de médecin des Armées (capitaine) après leur thèse de médecine.

Concernant les chirurgiens, leur parcours hospitalier et universitaire est en tous points similaire à celui de leurs confrères civils avec spécialisation par le DESC d'orthopédie ; un concours sur titre leur permet d'accéder au statut de praticien certifié (notre concours de PH...).

Chaque chirurgien militaire en formation, en plus de son DES, a une formation complémentaire lui permettant d'élargir sa culture chirurgicale lors des deux dernières années. Ainsi, des modules de chirurgie viscérale, de chirurgie vasculaire, de chirurgie « tête et cou », de neurochirurgie (crâne) sont enseignés aux orthopédistes. Une formation complémentaire est aussi réalisée en pédiatrie et en chirurgie d'aide humanitaire. Tous ces modules entrent dans une formation dénommée CACHIRMEX (Cours Avancé de CHIRURGIE en Missions EXTérieures). Tous les chirurgiens militaires sont également inscrits aux enseignements de la nouvelle FST (Formation Spécialisée Transversale) de chirurgie de guerre et de catastrophe.

Ces enseignements de chirurgie, un peu spécifiques, sont réalisés au sein de la chaire de chirurgie aux armées qui

regroupe actuellement une quinzaine de professeurs dont 4 orthopédistes.

La formation initiale des chirurgiens militaires est ensuite régulièrement complétée par des enseignements de traumatologie, par des modules d'enseignement en groupe pour les antennes chirurgicales, par des exercices de triage, de prise en charge d'afflux massifs (MASCAL), mais aussi par des enseignements à valence internationale comme l'ATLS (*Advanced Trauma Life Support*) qui permettent aux praticiens militaires de pouvoir travailler en interaction et en multinational avec nos confrères anglo-saxons comme cela avait été le cas durant les opérations extérieures en Afghanistan.

● LES MISSIONS DU CHIRURGIEN ORTHOPÉDISTE MILITAIRE

Être chirurgien orthopédiste militaire doit répondre à trois impératifs au quotidien :

- Être capable de conserver une activité de traumatologie générale ;
- Être capable de développer une sur-spécialisation et un domaine d'expertise au sein de sa spécialité ;
- Répondre au contrat opérationnel en participant aux missions, soit en antenne chirurgicale, soit dans le cadre de déploiement de structures hospitalières.

Il faut distinguer ainsi deux grands pans de l'activité d'un orthopédiste militaire, son activité dans son hôpital d'affectation en France et son activité en mission.

En France, l'activité d'un praticien militaire est identique à celle de ses confrères civils, rythmée par les consultations, la chirurgie réglée et la participation à la garde ou à l'astreinte de traumatologie. Les différentes équipes s'organisent dans chaque hôpital afin que puisse être pris en charge l'ensemble des pathologies de la spécialité en fonction des affinités des uns et des autres. La prise en charge des affections du rachis reste souvent du domaine des neurochirurgiens dans les Armées. A cette activité classique, il faut aussi ajouter une activité d'expertise particulière car le praticien militaire vient en support du médecin d'unité comme expert afin de valider des aptitudes à l'emploi, de décider dans certains cas la mise en congé de longue maladie ou de participer au processus de réforme des militaires le nécessitant. Pour mener à bien cette mission, il lui est nécessaire de connaître un tant soit peu les milieux militaires dans lesquels évoluent les patients.

Les missions permettent au chirurgien militaire de sortir d'une routine que nous connaissons tous à l'hôpital. Organisées et programmées, elles sont appréciées car elles permettent de pratiquer différemment sa spécialité avec des pathologies parfois bien différentes de celles rencontrées en France.

Les missions restent également de très belles expériences humaines même si elles sont parfois dures et exigeantes. La charge des missions est différente en fonction des tensions internationales existantes. Dans les 15 dernières années, nous avons eu, au plus, 8 équipes chirurgicales en permanence hors de France. La situation actuelle est un peu plus apaisée avec une moyenne de 2 à 3 équipes déployées. Les missions peuvent se faire soit au sein d'une ARCS (effectifs # 15 personnes), soit au sein d'un Rôle 2+ (antenne chirurgicale avec renforts urgentiste, chir. spé, psychiatre, scanner # 25 à 30 personnes) comme cela était le cas à Gao au Mali ou dans une Rôle 3 comme à Kaboul (beaucoup plus de spécialistes # 90 à 120 personnels). Les missions peuvent aussi être réalisées embarquées soit sur le porte-avions, soit sur les porte-hélicoptères qui disposent tous d'un bloc opératoire, d'un scanner et de lits d'hospitalisation.

La doctrine d'emploi des unités chirurgicales repose sur une prise en charge échelonnée. En Afghanistan, la prise en charge des blessés était réalisée dans les Rôles 1 par des médecins d'unités rompus à la médecine d'urgence puis les blessés étaient pris en charge à Kaboul dans le Rôle 3 avant d'être conditionnés pour être évacués en avion sur le Rôle 4 (HIA Percy ou HIA Begin à Paris). En Afrique, les elongations kilométriques dans la bande sahélienne nous ont fait déployer un échelon supplémentaire : les blessés étaient pris en charge dans un Rôle 1 puis emmenés pour conditionnement et stabilisation par *Damage Control Surgery* (DCS) dans une ARCS (Rôle 2) avant d'être transférés et parfois réopérés à Gao (Mali) ou à N'Djamena (Tchad). Une fois conditionnés et stabilisés, ils étaient transférés à Paris par transport aérien sanitaire.

Cette activité en mission nous a permis de réaliser de nombreux séjours à l'étranger avec des expériences diverses allant des théâtres d'opération en ex-Yougoslavie ou au Kosovo aux missions en Afghanistan, en Jordanie ou au Liban sous divers mandats, mais aussi en Côte d'Ivoire, en Centrafrique, au Mali, au Niger, au Tchad ou à Djibouti. Elle nous a permis également

de parcourir la Méditerranée, le golfe de Guinée, le Pacifique et l'Atlantique à bord de nos navires. Les chirurgiens orthopédistes ont également été déployés dans des catastrophes naturelles comme des tremblements de terre au Pakistan ou en Turquie dans les années 2000 et à Haïti.

Si l'activité en mission a été parfois pauvre en chirurgie, rendant la mission longue lors de certains déploiements africains, la possibilité qui nous est donnée de faire de la médecine humanitaire, comme cela a été le cas en Centrafrique, au Tchad, à Djibouti et en Afghanistan, a été très enrichissante pour l'ensemble des équipes chirurgicales. Cela a aussi permis que ces missions, qui durent entre 6 semaines et 4 mois, passent plus rapidement. Travailler en mission extérieure reste un gage d'efficacité s'il fallait prendre en charge des blessés nous appartenant car les équipes issues d'hôpitaux souvent différents sont rompues à travailler quotidiennement ensemble. Nos confrères anglo-saxons sont plus réservés à ce propos et préfèrent attendre sans travailler d'éventuelles victimes et nous envient notre façon de faire.

Continuer à partir en mission, pour un enseignant de la chaire de chirurgie, reste aussi un moyen d'évaluer l'acuité de la formation dispensée aux plus jeunes et de l'adapter quand les contraintes opérationnelles évoluent.

Globalement, la charge en mission extérieure est en moyenne de 3 à 4 missions sur une période en antenne chirurgicale de 3 ans puis d'une mission de deux mois environ, tous les 18 à 24 mois sur le reste de la carrière.

Un praticien militaire en fin de carrière a été déployé en mission extérieure entre 10 et 20 fois ce qui est souvent au-delà du nombre de missions réalisées par des militaires en opérations extérieures durant toute leur carrière.

● LA RÉSERVE OPÉRATIONNELLE

Les effectifs du service de santé ont été enrichis ces quinze dernières années par l'engagement de nombreux réservistes notamment en chirurgie et en orthopédie. Ces réservistes appartiennent à la réserve opérationnelle et à ce titre sont sollicités soit dans les hôpitaux militaires pour des missions d'expertise, soit pour des missions d'enseignement, mais aussi pour des missions extérieures.

Afin de répondre aux mêmes exigences que pour les chirurgiens de carrière, ces

réserve sont inscrits à la formation CACHIRMEX qui doit être réalisée avant tout départ en mission. La durée de mission d'un réserviste est souvent d'un mois car une absence plus longue est difficile à gérer en France que ce soit pour des praticiens hospitaliers ou des praticiens du privé. Certains confrères en fin de carrière hospitalière partent parfois un peu plus longtemps.

Les missions choisies généralement par nos réservistes sont les missions marines, les missions sur structure consolidée comme le Rôle 2+ du Tchad ou le Rôle 2+ de Djibouti. En d'autres temps, nous avions également des réservistes à Kaboul, mais ils ne peuvent être affectés en antenne chirurgicale du fait de la disponibilité exigée des praticiens en ARCS.

Pour être réserviste, il faut :

- Être orthopédiste ;
- Être apte physiquement ;
- Être de nationalité française ;
- Être opérateur, car les lourdeurs et embûches administratives de l'engagement dans la réserve peuvent décourager...

Une fois réserviste opérationnel, le praticien civil est affecté dans une structure hospitalière de rattachement (pour sa gestion administrative). Le grade attribué est fonction de son ancienneté dans la spécialité et équivalent à un praticien militaire du même âge, allant de Médecin Principal (commandant) à Médecin en Chef (Lieutenant-Colonel ou Colonel). Il lui est rédigé une fiche de poste et, s'il veut faire des missions, il est inscrit au programme de formation CACHIRMEX. La planification des missions est annuelle et les propositions sont réalisées par le bureau de gestion des missions de la direction des hôpitaux. Le chirurgien réserviste déployé en OPEX est rarement chef et responsable

du dispositif chirurgical, même s'il est plus âgé, car si sa compétence chirurgicale est plus importante, son passé militaire l'est souvent moins.

Sur une chaire de chirurgie à 140 praticiens dont une trentaine en formation, nous avons actuellement environ une trentaine de réservistes qui viennent compléter nos rangs et enrichir le Service de Santé des Armées dans sa composante chirurgicale.

Le chirurgien orthopédiste militaire est un chirurgien qui a suivi en tous points le parcours universitaire de ses confrères civils. Ce parcours a été enrichi par des formations complémentaires militaires mais aussi dans les autres spécialités chirurgicales afin qu'il conserve un certain degré de polyvalence et soit capable de faire une chirurgie rustique en milieu dégradé.

Rompu à la pratique de la traumatologie, il se doit également de développer des aspects plus techniques afin de s'adapter à sa population cible de patients : chirurgie du sportif, chirurgie de prise en charge des séquelles de traumatisme, chirurgie de reconstruction des grands délabrements des membres.

Les missions extérieures constituent également une particularité. Elles exigent une certaine disponibilité et un certain degré de résilience mais celles-ci restent, pour les praticiens, de magnifiques expériences humaines et chirurgicales.

Petit corps d'une quarantaine de praticiens, les orthopédistes militaires ne sauraient pourvoir à l'ensemble des missions tant nationales qu'en OPEX sans l'aide précieuse de leurs confrères civils réservistes.

Les évolutions des conflits actuels et l'incertitude géopolitique ambiante ne font que souligner la nécessité de former

de plus nombreux orthopédistes militaires mais aussi de communiquer et de partager avec nos confrères civils les réalités de la chirurgie de guerre.

Frédéric RONGIERAS

*Médecin Chef des Services Hors Classe
Professeur Agrégé du Val de Grâce
Consultant National pour la Chirurgie
Orthopédique et traumatologique dans les
Armées*

POUR EN SAVOIR PLUS...

Service de Santé des Armées

- <https://www.defense.gouv.fr/sante>
- https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Service_de_santé_des_armées

ARCS

- <https://youtu.be/O0lfjrEyY-0?si=xTyZtr820osiqBts>

Ecoles du Service de Santé des Armées

- <https://www.emslb.defense.gouv.fr/>
- <https://www.defense.gouv.fr/sante/ecoles-du-service-sante-armees>
- https://fr.m.wikipedia.org/wiki/école_de_santé_des_armées

Réserve opérationnelle

- <https://www.defense.gouv.fr/sante/recrutement/rejoindre-service-sante-armees/devenez-reserviste-sante>
- <https://devenez-medecin-militaire.fr/exercer/sengager-dans-la-reserve/>
- <https://youtu.be/IWMIEIjnvOk>



● Journées Nationales de formation des réservistes du Service de Santé des Armées.



PROJET DE RECHERCHE HOSPITALO-UNIVERSITAIRE (RHU) REBONE

L'enjeu d'un RHU est de favoriser l'innovation en associant recherche fondamentale et translationnelle.

Un projet majeur au service de la traumatologie, mais aussi de l'orthopédie.

Par **Marc-Olivier GAUCI**, CHU de Nice, coordinateur du RHU ReBone

● CONTEXTE

L'innovation en chirurgie orthopédique s'est largement complexifiée depuis ces dernières décennies. Le mythe du chirurgien qui développe un implant avec un ami ingénieur dans son garage est désormais loin et l'on peut gager que des innovations très radicales, comme la prothèse inversée d'épaule, seraient aujourd'hui condamnées à ne jamais voir le jour avec les contraintes actuelles. Plusieurs raisons à cette situation : la complexité technologique croissante, les normes réglementaires et de sécurité (certification, traçabilité, tests, MDR), les coûts de développement et, sans doute le plus critique, l'accès au marché.

● COMMENT CONTINUER À INNOVER EN CHIRURGIE DANS CE CONTEXTE ?

L'avènement des start-up, modèle qui nous vient de la Silicon Valley et mis en avant dans la « Start Up nation » a été une réponse optimiste. Ce modèle, performant au départ, a cependant montré ses limites pour plusieurs raisons : la dépendance de

financements externes devenus incertains dans le contexte sanitaire et géopolitique, le piège du « technopush » c'est-à-dire « la technologie pour la technologie » souvent déconnecté de la réalité terrain et du cas d'usage en particulier en chirurgie, domaine traditionnellement monolithique et à forte inertie au changement ou encore la faible durabilité des start-up qui rend la course entre la première preuve de concept (« POC ») et le premier euro de chiffre d'affaires très incertaine. Si les succès sont souvent mis en avant médiatiquement, beaucoup d'entrepreneurs, même après plusieurs tours de table d'investissement, finissent par jeter l'éponge.

Dans ce contexte d'accroissement des contraintes et de variabilité importante du risque dans un monde globalisé (où la concurrence est d'emblée multinationale), comment porter des innovations à impact systémique ?

C'est tout l'enjeu des appels à projets proposés dans le cadre de France 2030 et par l'Agence Nationale de la Recherche.

Dans le domaine chirurgical et à fortiori en chirurgie orthopédique, et par rapport à nos collègues médecins, nous avons peu l'habitude de ce type d'écosystème. Parmi ces appels à projets, le RHU (projet de Recherche Hospitalo-Universitaire) représente l'appel à projet avec le financement le plus important. L'enjeu d'un RHU est de favoriser l'innovation en associant recherche fondamentale et translationnelle (« de la paille au patient »), soins cliniques et valorisation industrielle. Il vise à accélérer le transfert des découvertes scientifiques vers la pratique clinique pour améliorer nos soins. La durée de mise en œuvre est de 5 ans et aboutit à des livrables bien identifiés (brevets, publications, spin off, etc.).

C'est une réelle opportunité de rassembler les dernières avancées en termes de recherches issues des laboratoires d'excellence, l'expertise d'équipes cliniques reconnues et la capacité des partenaires industriels qui assureront le déploiement de ces innovations. Chacun y trouve son compte : les laboratoires de recherches reçoivent les moyens de faire sauter des verrous technologiques et de mettre à contribution des découvertes très récentes et leurs compétences de pointe au service d'applications rapides, les industriels se positionnent sur des innovations disruptives différenciantes en minimisant les risques et les cliniciens intègrent des découvertes scientifiques dans leur pratique quotidienne et mettent en place des essais cliniques innovants au service de leurs patients.

Cette collaboration permet en parallèle de se doter ou de faire fonctionner des outils et plateformes technologiques structurants (entrepôts de données de santé, plateforme collaborative multi-omique, laboratoires d'anatomie et bloc opératoire augmenté, plateforme d'impression 3D, etc.).

● LE RHU REBONE

Avec plus de 400 000 hospitalisations par an en France, 5 M€ de dépenses de la sécurité sociale et de forts enjeux de handicap et de dépendance, la traumatologie est en effet un véritable problème de santé publique et représente le 3^e fléau mondial reconnu par l'OMS après le cancer et les maladies cardiovasculaires. Fort de l'avènement du jumeau numérique et des applications de chirurgie augmentée en orthopédie depuis ces dernières années, le RHU ReBone vise à développer des outils de planification préopératoire personnalisés,

automatisés, collaboratifs et valides pour simuler, préparer puis réaliser des interventions en chirurgie ostéoarticulaire, dont la traumatologie, de façon sécurisée et patient-spécifique.

Au travers de ces pages, nous souhaitons présenter à la communauté orthopédique les différents partenaires du projet RHU ReBone, lauréat de l'appel à projet RHU 2023 et porté par le CHU de Nice afin de rendre plus familier à vos yeux les acteurs de la recherche et de l'innovation qui peuvent se retrouver autour d'un projet d'une telle envergure. Le coût global de ce projet est de plus de 23 millions d'Euros avec une aide de la part de l'ANR de plus de 8,2 millions d'Euros.

● EN PRATIQUE, POUR QUOI FAIRE ?

D'un point de vue technologique, la segmentation et la réduction automatiques des os fracturés nécessitent des approches très novatrices, la transposition des caractéristiques biomécaniques des os à partir des données issues du scanner sont très exploratoires. En outre, la prise de décision assistée par l'IA pourra optimiser nos choix et pourra, à terme, améliorer notre approche chirurgicale et nos propositions chirurgicales quitte à (on peut toujours rêver !) avoir des prises en charge plus consensuelles !

Une fois ce jumeau numérique biomécanique obtenu et la planification réalisée, il

faudra apporter toutes ces informations au bloc opératoire au travers de guides et, si nécessaire, d'implants patient-spécifiques imprimés dans le contexte de l'urgence sur place dans les hôpitaux (c'est le POC : « Point Of Care » pour les guides) et pouvoir consulter les données de planification au bloc opératoire au travers de dispositifs de vision augmentée.

Bien entendu, l'évaluation clinique viendra valider cette preuve de concept.

Découvrez dans les pages suivantes ceux qui ont accepté de relever ces incroyables défis !

Marc-Olivier GAUCI

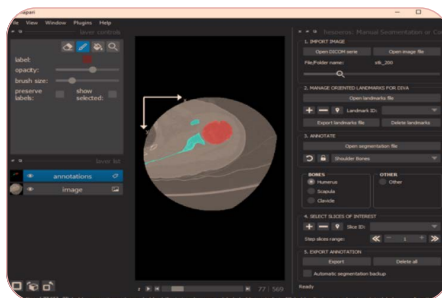
L'ÉQUIPE ICARE



● PRÉSENTATION ET HISTORIQUE

L'équipe ICARE (Intelligence Artificielle, Chirurgie Computation & Augmentée, Réutilisation des données et Evaluation multiparamétrique) est une équipe mixte de recherche (UMR) de l'Université Côte d'Azur (UniCA) labellisée INSERM en 2023.

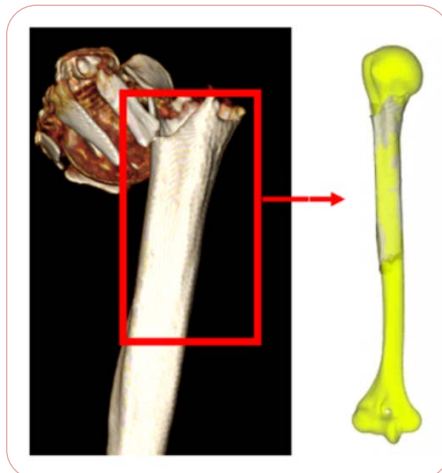
Cette équipe a été créée par le Dr Marc-Olivier Gauci en 2018 dans l'UMR2CA (Unité Mixte de Recherche Clinique Côte d'Azur), « pépinière » d'équipes de recherche créée par le Doyen Dellamona de l'UFR de médecine de Nice. Elle s'est par la suite individualisée et a rejoint l'IBV (Inserm U1091). Depuis sa création, cette équipe s'est progressivement étoffée et rassemble aujourd'hui plus de dix thésards en sciences, ingénieurs de recherche, chargés de projets et techniciens mais aussi des étudiants en M2 et des médecins/chirurgiens affiliés autour de la thématique du jumeau numérique en chirurgie, des applications augmentées (réalité mixte/virtuelle, impression 3D) et du bloc opératoire augmenté. A 5 minutes à pied du CHU de Nice et en face du Centre de Lutte contre le Cancer Antoine Lacassagne, le laboratoire est localisé au 1^{er} étage de la Tour



Pasteur à l'Est de Nice qui rassemble l'UFR médecine et de nombreux laboratoires. L'équipe ICARE est co-fondatrice de la plateforme de Santé Numérique associant d'autres équipes de recherche sur cette thématique et l'Entrepôt de Données de Santé régionale PACA (EDS Méditerranée, Lauréat AAP EDS 2023 piloté par le Dr Gauci) créant un vrai pôle d'excellence azuréen autour de la Santé Numérique.

● OBJECTIFS GÉNÉRAUX

La stratégie du laboratoire ICARE est de créer des modèles numériques automatisés fiables, notamment à l'aide d'outils de ML ou d'IA, qui seront utilisés dans le diagnostic, le processus de prise de décision et en peropératoire. D'autre part et afin d'évaluer leur utilisabilité à travers différents outils d'application, nous réalisons des crash-tests en conditions expérimentales ou réelles et développons des matrices d'utilisabilité multiparamétriques pour les solutions numériques. Ces résultats serviront d'indicateurs fiables de la capacité d'un outil numérique à s'intégrer dans un flux de travail chirurgical.

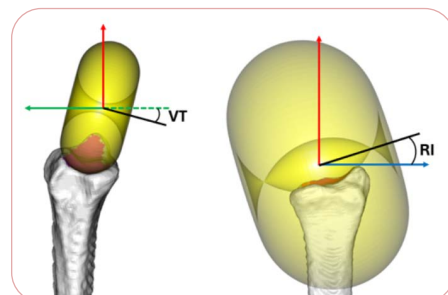
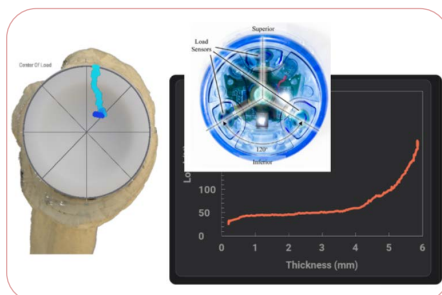


● POSITIONNEMENT DU LABORATOIRE ICARE

Le laboratoire ICARE est à l'interface entre une activité de recherche et développement, impliquant des chercheurs et des partenaires industriels, et une activité d'application menée par des chirurgiens sur des plateformes de test (laboratoire d'anatomie, salle d'opération augmentée, simulateurs) et dans des salles d'opération. L'équipe ICARE travaille sur des modèles 3D ostéoarticulaires afin de fournir un modèle préopératoire fiable et automatisé pour traiter les fractures osseuses. Des modèles statistiques de forme sont également développés pour retrouver l'os et l'articulation prémorbides et pour guider l'objectif de la chirurgie.

Les activités du laboratoire ICARE s'inscrivent dans une évaluation à 360° de l'utilisation des outils numériques au bloc opératoire (vision augmentée, prothèses connectées, impression 3D, exosquelette), seule à même de garantir leur performance. Les facteurs humains sont pris en compte, qu'ils soient subjectifs (charge mentale, conscience de la situation ou acceptabilité) ou objectifs (rythme cardiaque, transpiration, etc.) pendant l'intervention. L'équipe ICARE développe aussi des indicateurs pour prédire l'utilisabilité des dispositifs chirurgicaux numériques.

L'exploitation des données générées par les outils numériques est également au



Publications

- A Caubere, S Rutigliano, S Bourdon, J Erickson, M Morelli, M Parsons, L Neyton, **MO Gauci**. *How does humeral lateralization affect joint function ? A biomechanical observation using a « smart » RSA*. *International Orthopaedics*, 2 septembre 2024. <https://doi.org/10.1007/s00264-024-06282-6>.
- **MO Gauci**, L Glevarec, N Bronsard, C Cointat, Y Pelletier, P Boileau, JF Gonzalez. *Is Preoperative Planning Reliable for Predicting Postoperative Clinical Differences in Range of Motion between Two Stem Designs in Reverse Shoulder Arthroplasty*. *J Shoulder Elbow Surg*, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2023.11.031>.
- M Maiotti, S De Nigris, S Tardioli, M Cavaliere, S Barillà, A Angelini, G Torre, **MO Gauci**. *IODA-Shoulder®, a 3-Dimensional Automated Software for Glenoid Bone Loss Quantification in Shoulder Instability. A Validation Study*. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2023, 103745. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2023.103745>.
- R Winter, A Citarel, P Chabrand, A Chenel, N Bronsard, T Poujade, **MO Gauci**. *An Evaluation of the Reliability of Manual Landmark Identification on 3D Segmented Wrists*. *J Bone Joint Surg Am* 106 (2024): 315 22. <https://doi.org/10.2106/JBJS.23.00173>.
- **Gauci MO**, Olmos M, Cointat C, Chammas PE, Urvoy M, Murienne A, Bronsard N, Gonzalez JF. *Validation of the Shoulder Range of Motion Software for Measurement of Shoulder Ranges of Motion in Consultation: Coupling a Red/Green/Blue-Depth Video Camera to Artificial Intelligence*. *International Orthopaedics*, 27 décembre 2022. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05675-9>.

Marc-Olivier GAUCI

Hôpital Pasteur 2
30 voie Romaine, 06001 Nice

- **Bibliographie** : 74 publications à comités de lecture, h-index : 24, Citations : 2387.
- **Fonction actuelle** : praticien hospitalier (chirurgie orthopédique), IULS, CHU de Nice, Responsable de l'unité de recherche ICARE, IBV (INSERM/ Université Côte d'Azur), Coordinateur des FHU Plan & Go (Label d'excellence) et RHU ReBone (projet ANR), pilote du Projet Entrepôt de Données de Santé Méditerranée (EDS région PACA), Titulaire d'une Chaire 3IA Institut Côte d'Azur (2024).
- **Formation** : HDR (UniCA, 2020), Doctorat (LaTIM, Brest, 2020), Thèse de médecine (Nice, 2014). Prix, récompenses et distinctions : Award Innovation days EIT Health,

Institut 3IA (2020) ; Médaille du Collège Français de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (2018) ; Prix de l'Université Côte d'Azur (2017) ; Prix de l'Académie Française de Chirurgie (Labex Cami), Chirurgie Assistée par Ordinateur (2016) ; Médaille d'Or du Centre Hospitalier Universitaire de Nice, filière Chirurgien, Octobre (2015) ; Prix de la Meilleure Communication SOFCOT (2014).

- **Service de comité et activités professionnelles** : Président de la Société Française d'Orthopédie Assistée par Ordinateur (CAOS-France) ; membre de l'Académie Nationale de Chirurgie, référent recherche pour l'IULS ; Administrateur du GCS CARES, Agence de l'Innovation en Santé (représentant Inserm/SOFCOT) ; fondateur et ancien président du Conseil National des Jeunes Chirurgien (CNJC, 2014) ; ancien président du CJO (2018).

cœur de la stratégie d'ICARE. Nous favorisons ainsi l'industrialisation d'un recueil de données de qualité pour alimenter nos algorithmes, en étroite collaboration avec l'Entrepôt de Données de Santé Méditerranéenne.

L'équipe est lauréate de plusieurs appels à projet (ANR, BPI, France 2030) et fait partie du FHU Plan&Go. Elle a notamment obtenu un projet de Recherche Hospitalo-Universitaire (RHU ReBone 2023) avec un financement de 8,2 millions d'euros. Elle participe à plusieurs programmes nationaux (dont le programme Booster Inserm). Bénéficiant d'un écosystème unique à

proximité du CHU, du laboratoire d'Anatomie Normale au sein de l'UFR Médecine et à proximité de Sophia Antipolis, première technopôle d'Europe, elle compte de nombreux partenariats cliniques (IULS, CAOS France, SOFCOT, etc.), de recherche (INRIA, Inserm, CNRS, Institut Pasteur, Mines de Paris, etc.) et industriels tant en imagerie, médecine interventionnelle qu'en chirurgie.

Ce sont ces thématiques et ces compétences que l'équipe ICARE met à disposition du RHU ReBone pour accomplir son projet ambitieux.

Marc-Olivier GAUCI

Contact

gauci.mo@chu-nice.fr
marc-olivier.gauci@inserm.fr

L'équipe ICARE accueille des fellowships cliniques ou recherche, des master 2, des thèses de sciences et recrute par ailleurs des chercheurs permanents (Inserm ou Universitaires) en traitement du signal, computer vision, biomécanique, IA.

<http://ibv.unice.fr/research-team/gauci/>

CHIRURGIE PERSONNALISÉE ET PRISE EN CHARGE MASSIVE : UNE INCOMPATIBILITÉ RENDUE POSSIBLE PAR LA CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (CAOS) ? L'EXEMPLE DES TRAVAUX MENÉS AU LaTIM



Laboratoire de Traitement
de l'Information Médicale
Laboratory of Medical
Information Processing

Né de la complémentarité entre les domaines des sciences de l'Information et de la Santé, le LaTIM (Laboratoire de traitement de l'information médicale) développe une recherche multidisciplinaire conduite par des membres issus de l'Université de Bretagne Occidentale, de l'Institut Mines-Télécom - Atlantique (IMT-Atlantique), de l'INSERM et du CHU de Brest. L'information est au cœur des travaux de recherche menés par le laboratoire ; par nature multimodale, complexe, hétérogène, partagée et distribuée, celle-ci est intégrée, par les chercheurs, au sein de solutions méthodologiques dans le seul but d'améliorer le service médical rendu.

Depuis plus de vingt ans, la Chirurgie Orthopédique Assistée par Ordinateur est un des axes de recherche clés du LaTIM. Au côté du Professeur Eric Stindel, Guillaume Dardenne, chercheur à l'INSERM et actuellement titulaire de la chaire INSERM « 2DISurg - Data Driven Intelligent Surgical Procedures », supervise ces activités. Au sein d'une équipe rassemblant étudiants, chirurgiens, ingénieurs et scientifiques, de nouveaux concepts et méthodologies reposant sur des nouvelles technologies telles que l'Intelligence Artificielle ou la robotique et la navigation chirurgicale, sont ainsi développées, testées et progressivement intégrées en routine clinique afin d'assister à la fois la prise de décision chirurgicale et les interventions.

Nous intervenons ainsi dans plusieurs projets de recherche, notamment le projet de Recherche Hospitalo-Universitaire (RHU) FollowKnee (24 M€, 2018-2025, www.followknee.com), géré par notre laboratoire et regroupant 10 partenaires académiques et industriels avec pour objectif de proposer un workflow totalement innovant pour l'arthroplastie totale du genou. Un ensemble de technologies sont ainsi proposées : (1) un logiciel permettant à partir d'un scanner du patient de concevoir de manière complètement automatique une prothèse totale de genou

sur-mesure (Fig. 1) de type médial-pivot, (2) une solution d'assistance peropératoire basées sur des technologies issues de la Réalité Mixte afin d'assister le chirurgien au cours de l'intervention et optimiser le positionnement prothétique (Fig. 2), et enfin (3) un implant intégrant une nouvelle génération de capteurs permettant ainsi de mieux suivre la patient à l'issue de son intervention et mieux identifier de manière précoce d'éventuelles complications.

Tous ces développements vont ensuite être testés dans un environnement chirurgical réaliste par l'intermédiaire de notre



Figure 1 - FollowKneePlan, une plateforme de conception automatique d'implants orthopédiques sur mesure.

plateforme de recherche PLaTIMed (www.platimed.fr). Cette plateforme permet ainsi d'assister et faciliter la validation de dispositifs médicaux innovants utilisables dans un contexte interventionnel en mettant à disposition plusieurs équipements. Parmi ces équipements, un bloc opératoire pré-clinique (Fig. 3) nous permet de réaliser des interventions sur pièces anatomiques, et un scanner dédié post-mortem nous permet également d'acquérir des données pour la planification ou la validation d'une intervention. Une intervention complète sur pièces anatomiques peut alors être déroulée dans le but de valider une solution au sein d'un environnement chirurgical très réaliste. PLaTIMed a donc pour but de faciliter la recherche translationnelle dans le domaine CAOS.

Au sein du projet RHU Rebone, le LaTIM a donc en charge le développement d'une solution logicielle de planification automatique pour la traumatologie. Cette solution s'appuiera sur les compétences de l'équipe

notamment en modélisation statistique de forme (*Statistical Shape Modelling*, SSM) et en Intelligence Artificielle afin d'estimer à partir des fragments osseux un état non fracturé de l'os du patient, simuler à partir de cet état la réduction de la fracture et,



Figure 2 - Radiographie d'une prothèse totale du genou connectée.



Figure 3 - Bloc opératoire préclinique de PLaTIMed.

enfin, fournir un plan de chirurgie permettant l'ostéosynthèse optimale.

Guillaume DARDENNE

Contact

guillaume.dardenne@inserm.fr

Publications

- Guezou-Philippe A., Clavé A., Maguet E., Maintier L., Garraud C., Fouefack J.R., ... & **Dardenne G.** (2024). *Fully automated workflow for the design of patient-specific orthopaedic implants: application to total knee arthroplasty*. *arXiv preprint arXiv:2403.15353*.
- Guezou-Philippe A., Clavé A., Marchadour W., Letissier H., Lefevre C., Stindel E. & **Dardenne G.** (2023). *Functional safe zone for THA considering the patient-specific pelvic tilts: An ultrasound-based approach*. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 19(2), e2486.
- Pluchon J. P., Gérard R., Stindel E., Lefevre C., Letissier H., & **Dardenne G.** (2024). *Variations in pelvic tilt during day-to-day activities after total hip arthroplasty measured with an ultrasound system*. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 110(2), 103792.
- Andro C., Garraud C., Deransart P., Stindel E., Letissier H. & **Dardenne G.** (2024). *Orientation of the Scapula in the Standing Position*. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 43(2), 375-383.
- Le Stum M., Bertin T., Le Goff-Pronost M., Apremont C., **Dardenne G.**, Roland-Lozachmeur G. & Stindel E. (2023). *Three-dimensional printed knee implants: insights into surgeons' points of view*. *Journal of Personalized Medicine*, 13(5), 811.

SEGMENTATION AUTOMATISÉE DE STRUCTURES OSSEUSES FRACTURÉES EN TOMODENSITOMÉTRIE TRAUMATOLOGIQUE

MOTIVATIONS & CONTEXTE

La traumatologie présente une charge lourde pour les hôpitaux français, étant l'une des principales causes des visites aux urgences, avec plus de la moitié des cas pour les plus de 75 ans nécessitant l'hospitalisation [1]. La prise en charge de patients souffrant de fractures de la tête radiale, des fractures acétabulaires, et des fractures du plateau tibial demande une

planification chirurgicale et prothétique, qui est rendue difficile par l'absence d'imagerie pré-traumatique. De plus, la référence à la morphologie contralatérale n'est pas toujours suffisante, et l'interprétation de la tomodensitométrie des os fracturés est souvent difficile.

La segmentation des os et de leurs fragments consiste à délimiter l'extension spatiale de ces structures au sein de

l'image scanner, et son automatiser participerait significativement à l'amélioration de la planification chirurgicale en traumatologie. Les algorithmes d'Intelligence Artificielle (IA) connaissent un grand succès pour aider à l'interprétation des images médicales, en particulier pour la segmentation de structures anatomiques et pathologiques. Cependant, la segmentation d'os fracturés dans un contexte

traumatologique présente plusieurs défis. Par exemple, l'obtention d'annotations expertes en tant que vérité-terrain demande un temps considérable alors que la performance de réseaux de neurone est limitée par le faible nombre d'images annotées disponibles. De plus, plusieurs contraintes anatomiques doivent être respectées lors de la segmentation.

C'est pour répondre à ces difficultés que l'équipe-projet Epione du Centre Inria d'Université Côte d'Azur explore des solutions d'IA permettant de relever ces défis. Ainsi, elle est impliquée dans l'Institut Interdisciplinaire d'Intelligence Artificielle de la Côte d'Azur (3IA Côte d'Azur), et elle travaille depuis plusieurs années sur divers projets en imagerie cardiaque [2], thyroïdienne [3], cochléaire [4], et prostatique [5] en collaboration avec des partenaires cliniques et industriels.

Une première direction de recherche de cette équipe est le développement d'algorithmes de segmentation en prenant en compte la variabilité inter-expert dans l'établissement de vérité-terrain, ce qui conduit à une validation réaliste de leur performance. Une seconde direction consiste à s'affranchir du nombre restreint de données annotées disponibles en modélisant explicitement (avec des modèles de forme) ou implicitement (avec des modèles génératifs profonds) les connaissances anatomiques de la région d'intérêt. Le projet ReBone avec son fort impact clinique et industriel offre une belle opportunité pour développer de nouvelles solutions à la segmentation osseuse en traumatologie en incorporant ces deux réquisits.

● MÉTHODOLOGIE

La majorité des algorithmes d'IA pour la segmentation utilisent des réseaux de neurones pour apprendre de manière supervisée les régions de l'image à délimiter. Cela repose sur l'emploi d'un jeu de données d'entraînement combinant les images originales avec des masques de segmentation produits par des experts. La création de ces annotations dans le cas d'os fracturés est une tâche souvent complexe qui demande un temps considérable de la part des praticiens spécialistes. De plus, plusieurs experts peuvent fournir des vérités-terrain parfois variables, ce qui doit être pris en compte lors de la phase d'entraînement de l'algorithme mais aussi lors de la validation clinique.

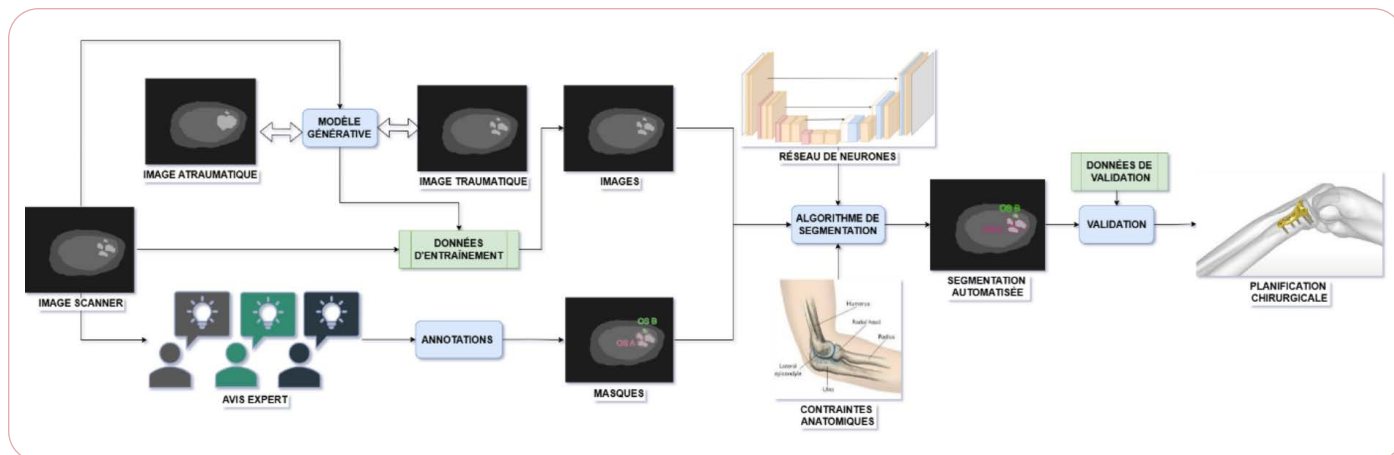
En outre, la difficulté d'annotation conduit à limiter le nombre des données utilisées pour entraîner les algorithmes, ce qui limite leur capacité d'apprentissage et donc, *in fine*, leur performance. Néanmoins, nous développons plusieurs stratégies pour améliorer la qualité des segmentations.

Tout d'abord, les fragments osseux étant le résultat d'un traumatisme mécanique, nous utilisons une stratégie générative pour synthétiser des images d'os fracturés à partir d'images sans fractures et vice-versa. Cette approche permet d'augmenter artificiellement le nombre et la variabilité des données d'entraînement et donc, ultérieurement, de rendre plus robuste la segmentation d'images. Il contribue d'autre part à estimer la forme réduite de la fracture à partir de l'image du patient traumatisé. Cette estimation est

une information utile pour les tâches d'aide à planification se déroulant en aval de la chaîne de traitement ReBone.

Également, nous améliorons la segmentation des fractures en utilisant une connaissance a priori de l'anatomie osseuse et des tissus environnants. Cette connaissance se traduit par des modèles statistiques de forme des structures osseuses en trois dimensions afin de prendre en compte leur variabilité anatomique. Ces modèles sont utilisés lors de l'apprentissage de réseaux de neurones afin de les contraindre de mieux respecter l'anatomie squelettique.

Hervé DELINGETTE est directeur de recherche à l'Inria Sophia Antipolis, directeur scientifique à l'Université Côte d'Azur, Fellow de la MICCAI Society, et titulaire d'une chaire à l'institut d'IA 3IA Côte d'Azur, également affilié à l'IHU RespirERA à Nice, France. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur et son doctorat à l'École Centrale de Paris, et a été chercheur invité à l'université Carnegie Mellon de Pittsburgh (USA), et dans les laboratoires de recherche de NTT à Yokosuka, (JP). Ses recherches portent sur divers aspects de l'intelligence artificielle en médecine, allant de l'analyse d'images médicales à la physiologie computationnelle, en passant par la chirurgie assistée par ordinateur.



● **Figure 1** - Illustration de la méthodologie proposée. Les images scanner des cas traumatologiques servent à créer un modèle génératif capable de synthétiser des images atraumatiques à partir d'images traumatiques, et vice-versa. Des praticiens experts annotent les images avec des masques identifiant l'os d'origine et tous les fragments fracturés. Les images générées et les masques servent à entraîner un réseau de neurones guidé par des contraintes anatomiques afin d'effectuer la segmentation automatique. La performance de l'algorithme de segmentation sera ensuite évaluée sur un ensemble externe d'images scanner. Une fois validé, l'outil pourra contribuer à la planification chirurgicale en traumatologie. Images issues de [6], [7] et [8].

Enfin, la validation rigoureuse de ces algorithmes repose sur des métriques de performance définies préalablement et sur l'utilisation de jeux de données indépendants de ceux utilisés lors de leur entraînement. La prise en compte de l'avis de plusieurs experts est aussi essentielle pour rendre la validation plus objective et robuste. L'ensemble des outils créés dans le cadre de ce projet apportera des bénéfices tangibles pour le suivi des patients en traumatologie (Fig.1).

Hervé DELINGETTE

Hari SREEDHAR

Équipe Epione du Centre Inria
d'Université Côte d'Azur

Contacts

herve.delingette@inria.fr
hari.sreedhar@inria.fr

Références

- [1] Cour des comptes. *Rapport public annuel 2019. La Documentation française*, 2019.
- [2] M. Sermesant, H. Delingette, H. Cochet, P. Jaïs et N. Ayache. *Applications of artificial intelligence in cardiovascular imaging*. *Nature Reviews Cardiology*, 18:600-609, 2021.
- [3] H. Sreedhar, G. P. R Lajoinie, C. Raffaelli et H. Delingette. *Active Learning Strategies on a Real-World Thyroid Ultrasound Dataset*. *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, 2023.
- [4] Z. Wang, T. Demarcy, C. Vandersteen, D. Gnansia, C. Raffaelli, N. Guevara et H. Delingette. *Bayesian logistic shape model*

inference: Application to cochlear image segmentation. *Medical Image Analysis*, vol. 75, p. 102268, 2022.

[5] D. Hamzaoui, S. Montagne, R. Renard-Penna, N. Ayache, et H. Delingette. *Automatic zonal segmentation of the prostate from 2D and 2D T2-weighted MRI and evaluation for clinical use*. *J Med Imaging (Bellingham)*, vol. 9, n° 2, p. 024001, 2022.

[6] Acumed. Disponible : <https://www.acumed.net/products/elbow/radial-head-plating-system/>

[7] Miami Bone and Joint Institute. Disponible : <https://www.miamiboneandjoint.com/fractureradial-headneck>.

[8] C. O'Sullivan. *Medium*. 2023, Disponible : <https://towardsdatascience.com/u-net-explained-understanding-its-image-segmentation-architecture-56e4842e313a>.

L'INSTITUT DES SCIENCES DU MOUVEMENT ETIENNE-JULES MAREY

L'Institut des Sciences du Mouvement Etienne-Jules Marey est une Unité Mixte de Recherche (UMR 7287), associant Aix-Marseille Université et le CNRS. Au cours des dix dernières années, l'ISM a développé une expertise reconnue dans l'approche multidisciplinaire de l'analyse du mouvement. Nous avons acquis la conviction que la compréhension du mouvement ne peut reposer uniquement sur l'identification de déterminants catégorisés, mais nécessite également une approche intégrative pour mettre en lumière leurs interactions dynamiques.

Le laboratoire est reconnu au niveau des sciences de la biomécanique des matériaux et du mouvement (domaine constitutif de l'équipe 1), de la psychologie, de la neurophysiologie et des neurosciences comportementales et cognitives (domaines constitutifs de l'équipe 2) et de la robotique bio-inspirée (domaine constitutif de l'équipe 3). Dans la démarche systémique, il faut aussi intégrer la notion de chaîne de valeurs, qui part des recherches fondamentales (qu'elles soient disciplinaires, pluridisciplinaires ou interdisciplinaires) jusqu'à leurs applications. Ce dernier point est essentiel et constitue sans ambiguïté une des forces majeures de l'ISM. Les applications dans les domaines de la santé, du sport, de l'éducation, de la robotique et du transport renforcent l'évidence de la nécessité d'une recherche systémique

et multi-échelles, du micro au macro, de la cellule au tissu et au corps entier, de l'animal à l'homme, de l'homme au robot (et vice-versa).

Pour soutenir ses projets, l'ISM s'est doté d'équipements de haute technicité pour l'analyse du mouvement et de ses fondements (neuro)physiologiques, biomécaniques et musculaires. Ces équipements peuvent être associés à de la réalité virtuelle et couplés à des capteurs embarqués et portables, développés et personnalisés par des ingénieurs spécialisés du laboratoire.

L'équipe **BioMécanique/bioIngénierie (BMI)** de l'ISM développe des projets scientifiques interdisciplinaires sur les tissus des systèmes ostéoarticulaires et musculosquelettiques et leurs interactions avec le mouvement. L'objectif et l'originalité de l'équipe **BMI** est d'étudier le système sain, pathologique ou réparé par une approche intégrée multidisciplinaire, multi-échelles et multi-physique marquée par des liens forts entre biomécaniciens, biologistes, spécialistes des biomatériaux et cliniciens.

L'équipe **BMI** s'est construite autour de deux axes croisés :

1) L'axe « mécanobiologie » a pour objectif de comprendre la dynamique et la plasticité des structures tissulaires qui constituent le système musculosque-

lettique et ostéoarticulaire en fonction des contextes mécanique et biologique. Au sein de cet axe sont menées des recherches in vivo, in vitro et in silico croisées. L'enjeu est d'identifier des stratégies de stimulation des processus de régénération et de réparation des tissus afin de restaurer le mouvement.

2) L'axe « biomécanique intégrative » a pour objectif d'étudier la dynamique des adaptations individuelles des systèmes musculosquelettiques et ostéoarticulaires dans la production du mouvement afin d'optimiser les contextes d'interventions ergonomiques, sportifs et cliniques.

Dans cet axe l'équipe développe des projets de recherche sur les fractures osseuses. Les fractures diffèrent largement entre elles en termes d'os atteint, de la complexité du trait de fracture, du site de la fracture sur l'os (fracture articulaire ou extra-articulaire), de la présence de lésions associées. Le traitement dépend de tous ces facteurs propres à la fracture et des spécificités du patient. L'ostéosynthèse de ces fractures est une chirurgie difficile qui doit prendre en considération la complexité de la lésion, les structures avoisinantes à ne pas léser, le matériel d'ostéosynthèse disponible, les caractéristiques du patient. L'équipe développe des modèles personnalisés de dispositifs médicaux et plus particulièrement l'équipe **BMI** a développé des

jumeaux numériques de la fracture du col du fémur, de l'ostéotomie tibiale du genou et de la fracture du fémur distal lors d'une ostéosynthèse par plaque verrouillée. Lors de ce dernier modèle, une analyse d'optimisation du choix des plaques, du type et du nombre de vis a été réalisée (Figure 1). L'équipe va apporter toute son expertise dans ce domaine au projet RHU Rebone.

Martine PITHIOUX

Directrice de recherche CNRS, directrice ISM, coresponsable équipe BMI

Publications

- P. Knoepflin, **M. Pithioux**, D. Bendahan, F. Poullain, T. Le Corroller, C. Fabre, V. Pauly, M. Creze, E. Soldati, P. Champsaur, D. Guenoun, 2022. *Texture parameters measured by UHF-MRI and CT scan provide information on bone quality in addition to BMD: a biomechanical ex-vivo study.* *Diagnostics journal*, <https://doi.org/10.3390/diagnostics12123143>.

- F. Poullain, P. Champsaur, V. Pauly, P. Knoepflin, T. Le Corroller, M. Creze, **M. Pithioux**, D. Bendahan, D. Guenoun, 2022. *Vertebral trabecular bone texture analysis in opportunistic MRI and CT scan can distinguish patients with and without osteoporotic vertebral fracture: a preliminary study.* *European Journal of Radiology* 158:110642. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110642>.
- D. Guenoun, **M. Pithioux**, J-C Souplet, S. Guis, T. Le Corroller, A. Fouré, J-P Mattei, V. Pauly, M. Bernard, M. Guye, P. Chabrand, P. Champsaur, D. Bendahan, 2019. *Assessment of proximal femur microarchitecture using ultra-high field MRI at 7 Tesla.* *Diagnostic and Interventional Imaging*, <https://doi.org/10.1016/j.diii.2019.06.013>.
- Z. Nakhli, F. Ben Hatira, **M. Pithioux**, P. Chabrand, K. Saanouni, 2019. *Femoral Fracture load and damage localization pattern prediction based on a quasi-brittle law.* *Structural Engineering and Mechanics, An International Journal*, Vol 72; Issue 2, pp 191-201, <https://doi.org/10.12989/sem.2019.72.2.191>.
- Le Corroller, **M. Pithioux**, F. Chaari, B. Rosa, S. Parratte, B. Maurel, J.N. Argenson, P. Champsaur, P. Chabrand, 2013. *Bone texture analysis is correlated with three-dimensional microarchitecture and mechanical properties of trabecular bone in osteoporotic femurs.* *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, vol 31(1):82-88

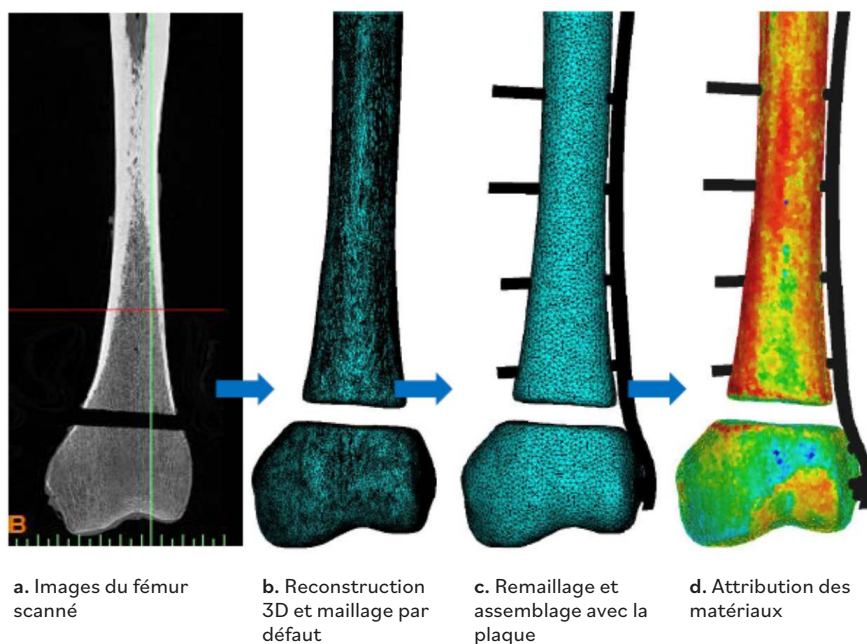


Figure 1

NOUVELLES APPROCHES DES FRACTURES À LA FRONTIÈRE DE LA VISUALISATION AVANCÉE ET DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

DECISION AND BAYESIAN COMPUTATION - EPIMÉTHÉE

Le laboratoire, ouvert en 2017 à l'institut Pasteur, a récemment été renouvelé et il est devenu aussi une équipe projet INRIA. Le laboratoire est peuplé de physiciens théoriciens et mathématiciens appliqués qui travaillent sur des problématiques biomédicales dominées par la modélisation physique et les inférences Bayésiennes. Le laboratoire a trois membres permanents, 2 physiciens, Christian L. Vestergaard et Jean-Baptiste Masson, et un mathématicien

appliqué/ingénieur logiciel, François Laurent, 2 post-doctorant.e.s physicien.ne.s, Chloé Barré et Alex Barbier Chebbah, et 6 thésard.e.s, Alexis Benichou, Charlotte Godard, Robin Cremese, Anqi Zhou, Alexandre Blanc et Astrid Nilson. Le laboratoire travaille sur deux problématiques principales, la neuroAI incarnée avec comme système modèle la larve de Drosophile et la création de suites logicielles pour la visualisation et l'analyse d'imageries médicales. Parmi les avancées récentes sur ces sujets, le logiciel DIVA qui permet la visualisation et l'analyse

d'images médicales en réalité virtuelle et qui est la technologie source de la startup Avatar Medical (<https://avatarmedical.ai/>), le logiciel Hesperos qui permet l'annotation sur tablette d'imageries médicales en lien avec le logiciel DIVA, le logiciel Krios qui a été créé en collaboration avec l'Équipe Hajj du laboratoire LOCCO de l'institut Curie et qui permet le rendu photoréaliste d'imageries d'IRM de fœtus et le logiciel Japet qui permet la planification semi-automatique de chemins chirurgicaux à partir d'imageries médicales.

● LE RHU REBONE ET LE LABORATOIRE

ReBone vise à minimiser les complications et le temps de récupération dans les traumatismes osseux complexes en développant et en validant une nouvelle approche de planification préopératoire personnalisée, automatisée et collaborative, ainsi que son exécution par l'équipe chirurgicale.

À cette fin, ReBone apportera une suite logicielle et des procédures « physiques » afin de réduire les délais de traitement, de développer des chirurgies guidées plus

Jean-Baptiste MASSON est un

physicien théoricien et investigateur principal (PI) du laboratoire Decision and Bayesian Computation (DBC) - Epiméthée (EPI) situé à l'Institut Pasteur. Le laboratoire appartient également à l'INRIA, au CNRS et à l'Université de Paris. Ces intérêts de recherche se concentrent sur les principes d'organisation du traitement de l'information biologique. Sa recherche actuelle porte sur 2 axes. Le premier est la "neuroAI incarné", i.e. la relation entre le corps et le système nerveux central, avec comme système modèle la larve de *Drosophile*. Le second est le développement de suites logicielles de visualisation et d'analyses d'images médicales. JBM a une chaire interdisciplinaire en machine learning dans l'institut Pr[AI]rie et il est fondateur et "chief scientific officer" (CSO) de la spinoff de son laboratoire, Avatar Medical.

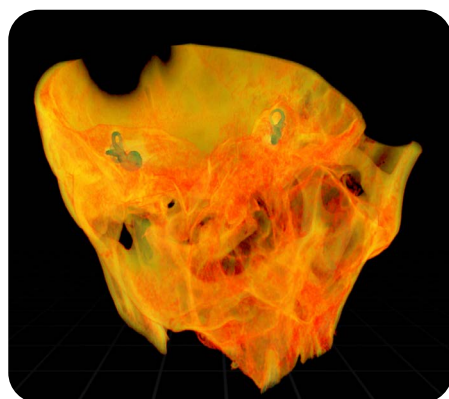


précises et reproductibles et de diminuer les complications postopératoires.

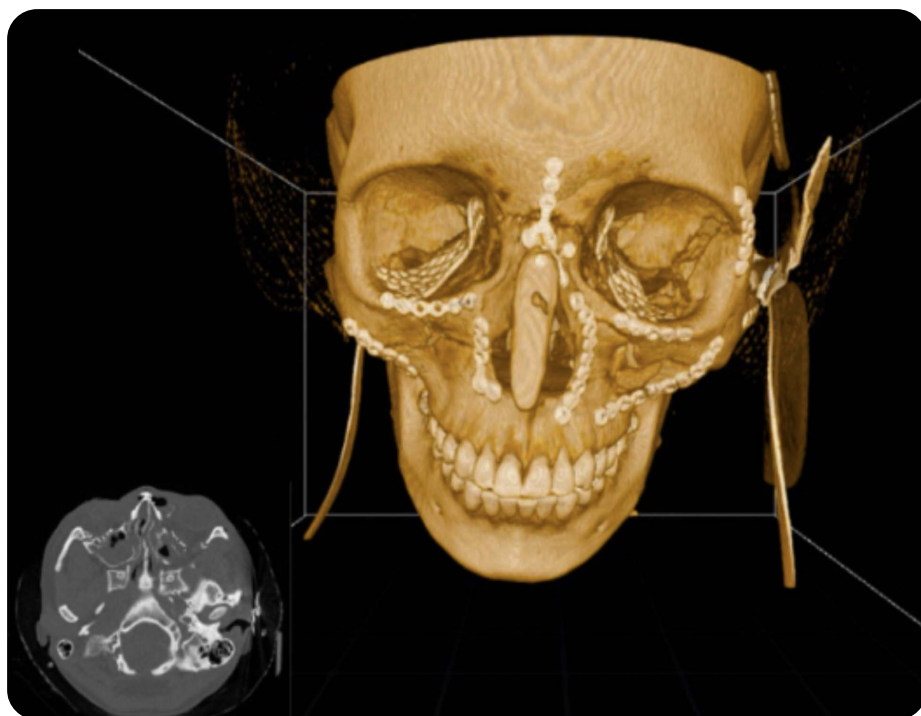
Le laboratoire contribue à ces problématiques tout d'abord par les méthodologies avancées de visualisation. Avant la chirurgie, il est essentiel de pouvoir observer de manière immersive (réalité virtuelle ou réalité mixte) tant les données d'imageries brutes, sans traitements préalables, que les segmentations faites par *machine learning*.

Ces visualisations pré-opératoires ont deux buts, prendre en compte la réalité physique et géométrique du patient mais aussi vérifier que les segmentations automatiques ne présentent pas d'anomalies qu'il faudrait corriger manuellement.

De même, nous développerons des outils pour interagir avec les morceaux d'os en réalité mixte avec divers nouvelles interfaces afin de permettre aux chirurgiens



● Exemple de visualisation d'un scanner de la tête et de segmentation de la cochlée (en vert).



● Visualisation d'un scanner post-opératoire (avec une coupe du scanner originel en insert) d'un polytraumatisé de la face.

de vérifier si la planification leur semble possible.

De plus, une part importante du travail se centrera sur l'analyse par *machine learning* des images de polytraumatisés. Nous contribuerons à la fois à la qualité des annotations de ces images en usant de logiciels mixtes d'annotation sur tablette et en réalité virtuelle. Pour l'entraînement nous exploiterons les résultats très prometteurs des architectures de type MedNext, l'accès au large cluster de l'institut Pasteur afin de faire ces entraînements en multi-GPUs nous permettant de charger les images médicales entières.

Jean-Baptiste MASSON

Contact

jbmason@pasteur.fr

Decision and Bayesian Computation

<https://bit.ly/32ld9Va>,

<https://bit.ly/3vFuLAX>

Computational biology & Neuroscience department, CNRS UMR 3571

Institut Pasteur,

<https://bit.ly/38KRYK>

Institut Prairie,

<https://bit.ly/3vBJqX>

25 rue du docteur Roux 75015, paris, France

Equipe projet Épiphée

INRIA, <https://www.inria.fr/en>

Paris, <https://bit.ly/49fvCJQ>

France

Références

- [1] El Beheiry M. et al. *DIVA: Natural Navigation Inside 3D Images Using Virtual Reality*. J. Mol. Biol. 432, 4745–4749 (2020).1 (2022).
- [2] Bouaoud J. et al. *DIVA, a 3D virtual reality platform, improves undergraduate craniofacial trauma education*. Nj. Stomatol. Oral Maxillofac. Surg. 122, 367–371 (2021).
- [3] Verdier H. et al. *Learning physical properties of anomalous random walks using graph neural networks*. J. Phys. Math. Theor. 54, 234001 (2021).
- [4] Guerinot C. et al. *New approach to accelerated image annotation by leveraging virtual reality and cloud computing*. Front. Bioinforma.
- [5] Roy S. et al. *MedNeXt: Transformer-driven Scaling of ConvNets for Medical Image Segmentation*. Preprint at <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.09975> (2024).

ANALYSE DE L'ACTIVITÉ POUR L'ÉVALUATION DE LA CHARGE MENTALE DANS DES SITUATIONS DE CHIRURGIE AUGMENTÉE ET POUR LA CONCEPTION DE FORMATIONS ADAPTÉES

LE LABORATOIRE

Le LAPCOS est un laboratoire pluridisciplinaire qui travaille sur les processus psychologiques complexes et mène des études sur la qualité de vie au travail. Il regroupe des chercheurs issus de la psychologie, de l'ergonomie, de l'anthropologie, des STAPS et des sciences de l'éducation. Le projet **RHU Rebone** s'inscrit dans l'axe 2 du LAPCOS « Santé : du bien naître au bien vieillir ». Cet axe Santé s'intéresse aux conditions de préservation du bien-être et de la santé mentale dans ses dimensions anthropologique, psychologique et sociale. Cet axe se décline en 3 thèmes. Le premier thème aborde la qualité de vie notamment au cours du vieillissement. Un exemple de recherches concerne l'appropriation par les personnes âgées des dispositifs d'aide à la mobilité. Le deuxième thème approche la situation de handicap tant sur le plan du déficit proprement dit que sur celui du regard social porté sur le handicap. Les conditions de réussite des étudiants en situation de handicap sont ainsi étudiées en relation avec l'impact réel de la situation de handicap dans leurs études. Le troisième thème regroupe les savoirs et leurs transmissions dans une perspective développementale et générationnelle. L'efficacité des technologies numériques dans le cadre d'un dispositif de formation ou d'un

projet thérapeutique est alors questionnée sous l'angle de l'ergonomie cognitive, de la neuropsychologie ou de l'anthropologie.

APPORT DANS LE PROJET RHU REBONE

Le LAPCOS est impliqué dans deux work-packages du projet RHU Rebone, le WP5 « *Planning and assisting complex surgeries with advanced rendering and mixed reality* » et le WP6 « *Pedagogics and Skills certification program* ». Concernant le WP5, les compétences des chercheurs du LAPCOS seront mises à profit du projet pour étudier le rôle de l'acceptabilité par les médecins des outils de réalité mixte et de son effet sur la perception de la charge mentale de travail des professionnels. Les chercheurs s'appuieront pour cela sur différents modèles théoriques. Pour l'acceptabilité, le modèle d'acceptation technologique (modèle TAM mettant en relation l'utilité perçue, la facilité d'utilisation perçue, l'intention d'utilisation et le comportement d'utilisation ; Davis, 1986) et les connaissances scientifiques sur l'effet des attitudes individuelles (auto-efficacité, pertinence du travail, anxiété) seront utilisées. Pour la charge mentale, le modèle ICA (mettant en relation les ressources disponibles des professionnels avec les charges mentales intrinsèques,

Publications

- Galy E. (2020). *A multidimensional scale of mental workload evaluation based on Individual - Workload - Activity (IWA) model: validation and relationships with job satisfaction*. *Tutorials in Quantitative Method for Psychology*, 16(3), 240-252.
- Galy E. (2017). *Consideration of several mental workload categories: perspectives for elaboration of new ergonomic recommendations concerning shiftwork*. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. DOI: 10.1080/1463922X.2017.1381777.
- Aguiar Y.P.C, Vieira M.F.Q., Galy E. & Santoni C. (2014). *Taken into account of individual and situation characteristics for understanding user's behaviour when interacting with systems during critical situations*. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence*, 6(2), 29-55.
- Hayotte M., Martinent G., Nègre V., Théroanne P. & D'Arripe-Longueville F. (2021). *Acceptability of technology-based physical activity intervention profiles and their motivational factors in obesity care: a latent profile transition analysis*. *International Journal of Obesity*. (10.1038/s41366-021-00813-6).
- Théroanne P., Hayotte M., Halgand F. & D'Arripe-Longueville F. (2023). *The Acceptability of Technology-Based Physical Activity Interventions in Postbariatric Surgery Women: Insights From Qualitative Analysis Using the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology 2 Model*. *JMIR Human Factors*, 10(3):e42178.

organisationnelles, temporelles et pertinentes ; Galy, 2020) complètera la réflexion, en renforçant la compréhension des pratiques et des attitudes. Ainsi, l'adaptation de l'échelle d'évaluation de la charge mentale de travail au domaine de la chirurgie est actuellement en cours de validation.

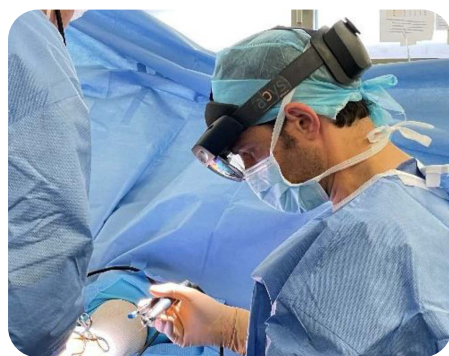
Concernant le WP6, le LAPCOS, dont certains chercheurs sont spécialisés en didactique professionnelle, est en charge de la coordination de la conception d'un MOOC (*massive open online course*). Ce MOOC inclura des conférences, des vidéos, des procédures chirurgicales, des quiz, des évaluations et des formations spécifiques. Des expériences spécifiques en temps réel seront proposées pour des ateliers et des échanges dans le métavers. Le choix des expériences pour ces ateliers repose sur une analyse de l'activité et de la situation de travail rigoureuse basée sur la démarche ergonomique. Elle permettra d'identifier les situations emblématiques ainsi que les situations critiques les plus pertinentes qui constitueront la base du contenu du MOOC.

Le LAPCOS a également la charge de la création d'un site internet dédié au projet et un forum de discussion avec les professionnels de santé, les responsables de la santé publique et les associations de patients. Cette création est basée sur une conception centrée utilisateur afin de répondre aux besoins des professionnels ciblés. Les premières études permettant l'élaboration d'un cahier des charges pour le développement du site web ont débuté en 2024 grâce à l'implication des étudiants du Master en ergonomie cognitive des technologies numériques rattaché au LAPCOS et co-dirigé par Edith Galy et Pierre Théroutanne.

Edith GALY

Contact

edith.galy@univ-cotedazur.fr



● Lunettes Hololens.

La responsable scientifique pour le LAPCOS (**laboratoire d'anthropologie et de psychologie clinique, cognitive et sociale**), Edith GALY, est professeure des universités en ergonomie et didactique professionnelle à l'Université Côte d'Azur.

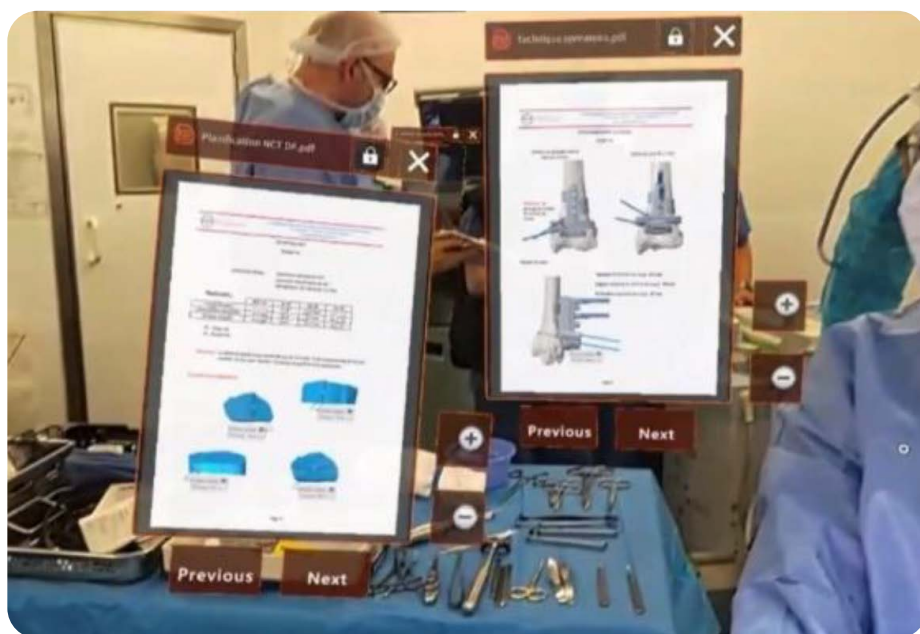
Elle a obtenu un doctorat en psychologie en 2002 et une habilitation à diriger des recherches en ergonomie en 2013. Elle travaille depuis plus de 10 ans sur la vigilance et la charge mentale, et sur les facteurs environnementaux et individuels qui expliquent les différences interindividuelles dans l'effet de la vigilance sur la performance. Elle est à l'origine d'un modèle transactionnel explicatif de la charge mentale de travail, le modèle ICA (Individu - Charge mentale - Activité ; Galy, 2017) développé à partir de nombreuses études menées sur le terrain (SAMU, bataillon de pompiers, centre de contrôle aérien, supervision de centrale nucléaire, etc.) et en laboratoire (simulateur de conduite, tâches expérimentales, etc.), ainsi qu'une échelle d'évaluation de la charge mentale de travail (Galy, 2020).

Edith Galy est rattachée à l'INSPE (Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation) de l'académie de Nice où elle enseigne la didactique professionnelle. Elle collabore également depuis plusieurs années avec le PPM (Pôle Pédagogie de la Marine) des écoles de

la Marine à la conception de formations métiers à partir de l'analyse de l'activité et des situations de travail.

Pierre THÉROUANNE est également partie prenante du projet. Il est maître de conférences en psychologie cognitive et ergonomie depuis 2003 au LAPCOS de l'Université Côte d'Azur. Il a obtenu un doctorat en psychologie cognitive en 2000. Ses activités de recherche portent sur l'accessibilité, la charge cognitive (Giraud, Théroutanne & Steiner, 2018) et l'acceptabilité des technologies numériques. Son principal intérêt actuel est l'acceptabilité, l'utilisation (ou l'intention d'utilisation) des technologies qui est déterminée par de nombreux facteurs (par exemple, l'utilité perçue, la facilité d'utilisation, les normes sociales, etc.). Avec plusieurs collègues et étudiants issus de différents domaines (ergonomie, psychologie sociale, sociologie, sciences du sport et économie), il étudie actuellement l'acceptabilité de différents types de dispositifs tels que les robots sociaux, les nudges (*) et les activités physiques basées sur la technologie (Hayotte, Théroutanne, *et al.*, 2020 ; Théroutanne *et al.*, 2023).

(*) NDLR : Le nudge (« coup de pouce » en français) vise à inciter des individus ou l'ensemble d'un groupe humain à changer tels comportements ou à faire certains choix sans les mettre sous contrainte, obligation ni menace de sanction.



● Hologrammes de documents de planification chirurgicale.

ABYS® MEDICAL : LE CLOUD-COMPUTING

COMME CATALYSEUR DE LA CHIRURGIE DE PRÉCISION



Abys® Medical, fondée en 2018 à La Rochelle, s'impose comme l'accélérateur d'une révolution digitale dans le domaine chirurgical, en fusionnant deux mondes à forte innovation que sont les technologies du jeu vidéo, pour une représentation fidèle du jumeau numérique, et celles de la chirurgie. Cette rencontre inédite ouvre la voie à une nouvelle ère de la médecine, où la précision, la sécurité et l'efficacité des gestes opératoires sont augmentées par la puissance du numérique. Abys® Medical se donne pour mission de redéfinir la pratique chirurgicale en intégrant des outils technologiques capables de réduire drastiquement la variabilité des résultats, d'éliminer les erreurs médicales et d'améliorer la précision des interventions.

L'ambition d'Abys® Medical dépasse les frontières de l'innovation actuelle. Face aux défis croissants de la médecine moderne, la stratégie de l'entreprise est résolument tournée vers l'avenir, en apportant des solutions numériques pionnières aux équipes chirurgicales. Alors que la numérisation des soins devient incontournable, Abys® Medical imagine une transformation globale où chaque étape, de l'imagerie clinique jusqu'à l'exécution de l'opération, est optimisée par des technologies intelligentes, intégrées et intuitives.

Abys® Medical incarne cette vision ambitieuse d'une médecine augmentée, en alliant le meilleur de la technologie et l'expertise médicale pour créer un écosystème où la précision chirurgicale et la personnalisation des soins deviennent la norme. Avec sa technologie brevetée SURGIVERSE® (*Secure Unlimited Realtime Graphic Interoperable UniVerse*), la première plateforme collaborative de gestion chirurgicale, l'entreprise offre aux praticiens des solutions numériques puissantes telles que la surveillance à distance, la chirurgie augmentée et des outils de formation médicale. Son architecture modulaire certifiée permet une intégration transparente des applications, des algorithmes et des bibliothèques d'implants, améliorant ainsi la distribution mondiale et les fonctionnalités personnalisées. Cette plateforme incarne une nouvelle dimension de la chirurgie : collaborative, augmentée et visionnaire, où chaque geste chirurgical est guidé par

la technologie avec une ambition forte d'amélioration de la reproductibilité des gestes chirurgicaux et de leur précision, en support aux équipes médicales.

Dans ce contexte, le projet RHU REBONE reflète l'avenir de la chirurgie numérique, en mobilisant un ensemble de compétences techniques complémentaires. Pour relever ce défi d'envergure, Abys® Medical s'appuie sur une équipe pluridisciplinaire d'experts visionnaires, combinant les talents des ingénieurs biomédicaux, des développeurs, des spécialistes en réalité mixte, en intelligence artificielle, en cybersécurité, en cloud computing, en architecture logicielle et, bien entendu, en affaires réglementaires (conformité ISO 13485, RGPD, HIPAA, HDS, FDA, bientôt CE). Chaque membre de cette équipe joue un rôle clé dans la création de dispositifs médicaux logiciels de nouvelle génération, spécialement conçus pour transformer la chirurgie orthopédique. Ensemble, ils repoussent les limites de l'innovation, façonnant une nouvelle ère où technologie et médecine fusionnent pour redéfinir les standards chirurgicaux du futur.

Les thématiques explorées par Abys® Medical s'inscrivent parfaitement dans la vision audacieuse du projet RHU REBONE. Abys® Medical s'attaque ici aux défis majeurs de la chirurgie numérique pour le traitement des fractures complexes du

bassin grâce à une solution de planification automatisée et collaborative. En repoussant les frontières de l'innovation technologique, cette plateforme a pour objectif l'automatisation de la phase diagnostic à partir de l'imagerie médicale et d'appuyer la décision stratégique de planification par des simulations des interventions chirurgicales avec une précision élevée. L'automatisation de ces simulations numériques complexes doit permettre de compléter l'arsenal thérapeutique de l'équipe chirurgicale en apportant une information en amont suffisante pour améliorer la compréhension et la lisibilité anatomique, donc le positionnement des implants avec, pour conséquence, une prise en charge optimisée des patients.

Pour orchestrer cette révolution technologique, plusieurs défis majeurs se dressent. Tout d'abord, le développement d'algorithmes puissants, capables de générer des modèles 3D d'une précision répondant aux exigences réglementaires d'équivalence avec l'œil du praticien, est essentiel pour rendre possible la simulation en temps réel des interventions chirurgicales. L'adoption des technologies de réalité mixte constitue un autre défi ambitieux : il ne s'agit pas seulement d'introduire ces innovations, mais de les rendre intuitives, ergonomiques et parfaitement adaptées aux environnements chirurgicaux où chaque seconde compte. Enfin, le respect des



● Surgiverse® : la première plateforme de planification chirurgicale collaborative en ligne.

exigences réglementaires internationales, des normes CE, et la gestion des problèmes de cybersécurité et de protection des données (RGPD) sont des piliers indispensables pour garantir la sécurité et l'efficacité des solutions déployées. En surmontant ces obstacles, Abys® Medical souhaite façonner l'avenir de la chirurgie numérique en combinant des savoir-faire en implantation chirurgicale et en technologie numérique en provenance du jeu vidéo. Le socle de cette ambition est, en effet, de mobiliser la puissance du calcul déporté dans le cloud computing pour permettre de manipuler sans difficulté, à partir du web, des technologies de 3D temps réel qui façonneront les images médicales de CT-scan en stratégie aboutie de la phase implantatoire.

Les innovations issues du projet RHU REBONE ouvrent un avenir prometteur au-delà des frontières de la chirurgie

traumatologique. L'objectif est de métamorphoser les pratiques chirurgicales en optimisant le temps de prise en charge opératoire, de réduire l'occurrence d'événements indésirables pendant l'acte, ainsi que les complications post-opératoires, en ayant évidemment en ligne de mire d'assurer la qualité de vie post-opératoire des patients. Mais cette transformation va au-delà de la technologie par l'intégration d'un volet pédagogique visionnaire qui joue un rôle clé dans l'adoption rapide de ces innovations par le corps médical. En formant les praticiens de demain, le consortium du projet RHU REBONE façonne un écosystème où l'innovation rencontre l'expertise clinique, permettant à la chirurgie d'évoluer vers une précision, une sécurité et une efficacité sans précédent.

La collaboration entre praticiens, chercheurs et industriels au sein du consortium RHU REBONE crée un écosystème unique,

où l'innovation technologique rencontre l'expertise médicale pour répondre aux besoins croissants du secteur de la santé. Cette synergie transcende les frontières traditionnelles de la recherche en propulsant le développement de technologies de rupture adaptées aux défis de demain. Chaque acteur, qu'il s'agisse de scientifiques, de chirurgiens ou d'industriels, contribue à façonner l'avenir de la chirurgie orthopédique et traumatologique, avec des retombées directes sur la compétitivité et la rentabilité des entreprises impliquées. Le projet RHU REBONE devient ainsi l'emblème d'une convergence puissante entre recherche médicale de pointe et innovation technologique, ouvrant la voie à des solutions qui révolutionneront la prise en charge des patients et redéfiniront les standards de la chirurgie mondiale.

Contact

contact@abys-medical.com

NEWCLIP TECHNIQS AU CŒUR DE L'INNOVATION CHIRURGICALE : EXPERTISE ET APPORT DANS LE CONSORTIUM RHU REBONE

Newclip Technics, entreprise française basée près de Nantes, est pionnière dans le domaine des implants d'ostéosynthèse de dernière génération. Depuis sa création en 2002, l'innovation, la qualité et la performance sont au cœur de ses valeurs, ce qui lui a permis de s'imposer comme un leader en matière de conception, de production et de commercialisation de systèmes de fixation novateurs. Ces systèmes de verrouillage polyaxiaux, conçus pour optimiser les interventions chirurgicales et améliorer la récupération des patients sont utilisables autant pour la chirurgie électorale que pour la traumatologie. Dans la lignée de ces innovations, les thématiques de R&D chez Newclip Technics incluent donc l'intégration des technologies numériques dans la chirurgie traumatologique permettant la planification chirurgicale, le développement d'instruments et d'implants via l'impression 3D, ainsi que le respect des normes de qualité et des réglementations en vigueur pour les dispositifs médicaux personnalisés.

Pour pouvoir concrétiser ces ambitions, Newclip Technics a développé, au cours des dernières années, un savoir-faire reconnu en reconstruisant en 3D, à partir des scanners des patients, les malformations osseuses ou les fractures mal consoli-

dées pour permettre aux chirurgiens de comprendre les corrections à apporter. Ainsi, Newclip Technics développe au quotidien une instrumentation spécifique au patient (PSI) d'après ces modélisations. Cela permet au chirurgien de planifier l'intervention et de réaliser la correction, grâce à des guides de coupe sur-mesure, de manière reproductible, précise et sûre. Avec plus de 1 500 cas traités annuellement, l'entreprise bénéficie d'une maîtrise qui est reconnue grâce à ses systèmes de référence 3D. Cette expertise permet à Newclip de répondre efficacement aux besoins des chirurgiens à l'échelle mondiale, en combinant innovation technologique et excellence industrielle.

La participation de Newclip Technics au **consortium REBONE** s'inscrit dans son engagement d'amélioration et de démocratisation de la modélisation 3D osseuse ainsi que de la planification des interventions chirurgicales et de leur assistance via des guides de chirurgie personnalisés. A travers cette opportunité, la volonté actuelle de l'entreprise est d'aider à la création d'instruments spécifiques aux patients pour les interventions complexes, facilitant ainsi la réduction des fractures osseuses et la personnalisation des traitements en traumatologie.

Dans le but de participer activement à l'amélioration des méthodes de modélisation 3D du radius distal et afin de préparer le projet REBONE, Newclip Technics a, de ce fait, initié une thèse en collaboration avec l'équipe ICARE de l'Institut de biologie de Valrose (IBV). Il est attendu de ce travail collaboratif, une meilleure évaluation de la fiabilité du positionnement manuel des repères anatomiques, un développement de référentiels 3D automatisés, et la caractérisation de la morphométrie tridimensionnelle du radius.

L'avancée actuelle de ces travaux a déjà permis de développer une méthodologie innovante de détermination automatique de la surface articulaire du radius distal afin de pallier les variabilités inhérentes aux méthodes manuelles (Figure 1). Cette approche, illustrée dans la Figure 2, offre des mesures précises et reproductibles. Le positionnement automatique de formes géométriques toroïdales ajustées sur la surface articulaire permet d'obtenir un référentiel tri-dimensionnel optimal.

De ce fait, cette nouvelle méthode vise à aider les chirurgiens à planifier les interventions avec une meilleure compréhension des déformations osseuses.

En parallèle, Newclip Technics participe au projet collaboratif PERForms qui vise également à préparer et à compléter le projet REBONE. A partir de scanners, ce qui constitue souvent la première étape de la modélisation 3D, PERForms vise à segmenter automatiquement les os de l'avant-bras grâce à l'utilisation de l'intelligence artificielle afin d'obtenir des reconstructions 3D. Ces reconstructions pourront ensuite alimenter un modèle statistique de formes (SSM) pour une prédiction automatique de l'anatomie complète de l'avant-bras en cas de scanners incomplets ainsi que le positionnement des os les uns par rapport aux autres pendant le mouvement de pronosupination. Cette méthodologie, permet de prendre en compte la relation dynamique physiologique entre le radius et l'ulna lors de la correction d'un de ces deux os. Le projet PERForms vise donc à surmonter les obstacles scientifiques et techniques actuels pour améliorer la précision et la fiabilité des planifications chirurgicales de l'avant-bras, à obtenir des résultats fonctionnels optimaux, et servira de base à la fois méthodologique et de données pour le RHU REBONE.

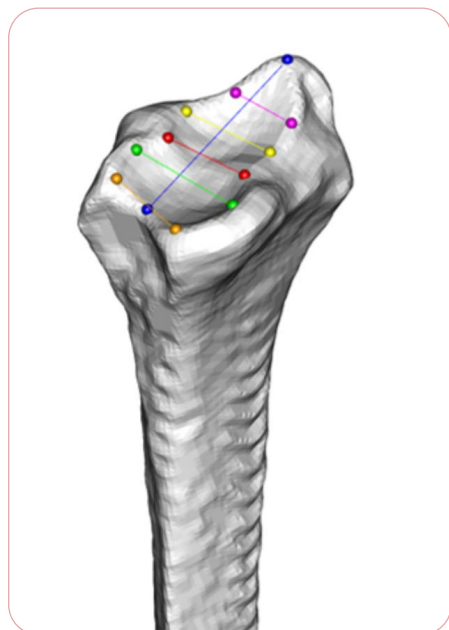
Dans le cadre de ce RHU, l'équipe de Newclip Technics se compose de membres pluridisciplinaires spécialisés dans la conception et la fabrication d'implants d'ostéosynthèse (ingénieurs, chercheurs et chirurgiens), avec une expertise particulière en modélisation et impression 3D. Les algorithmes de segmentation automa-

tique développés pour ce projet, permettront la génération de reconstructions 3D validées des os fracturés. La suite du travail se concentrera quant à lui sur la prédiction du modèle osseux pré-fracturé grâce à une approche basée sur les modèles statistiques de forme (SSM). Ce modèle pré-fracturé pourra alimenter le modèle prédictif des mouvements de pronosupination et servira de cible pour la simulation de la réduction de fractures. Une étude sur la qualité osseuse permettra d'affiner le choix de correction et de fixation. La fixation sera ensuite modélisée à l'aide d'un implant anatomique 3D fourni par Newclip Technics. Cette approche aidera les chirurgiens à simuler la réduction et à planifier les interventions de manière précise. Dans ce projet, Newclip Technics est responsable de l'impression 3D des modèles préopératoires et de l'instrumentation respectant les normes de qualité et les réglementations en vigueur pour les dispositifs médicaux personnalisés ainsi que de l'application des résultats des recherches dans le domaine industriel. Son équipe d'experts utilisera son expérience de plusieurs milliers de guides de coupe sur mesure (en particulier pour des déformations intra-articulaire) et sa connaissance de l'ostéosynthèse suivant le concept de « fragment spécifique » pour identifier les fragments clés de chaque fracture et mettre au point des techniques de réductions et de sécurisation de ces derniers ; ce qui devrait donc garantir une restauration des amplitudes articulaires. Cette méthodologie sera

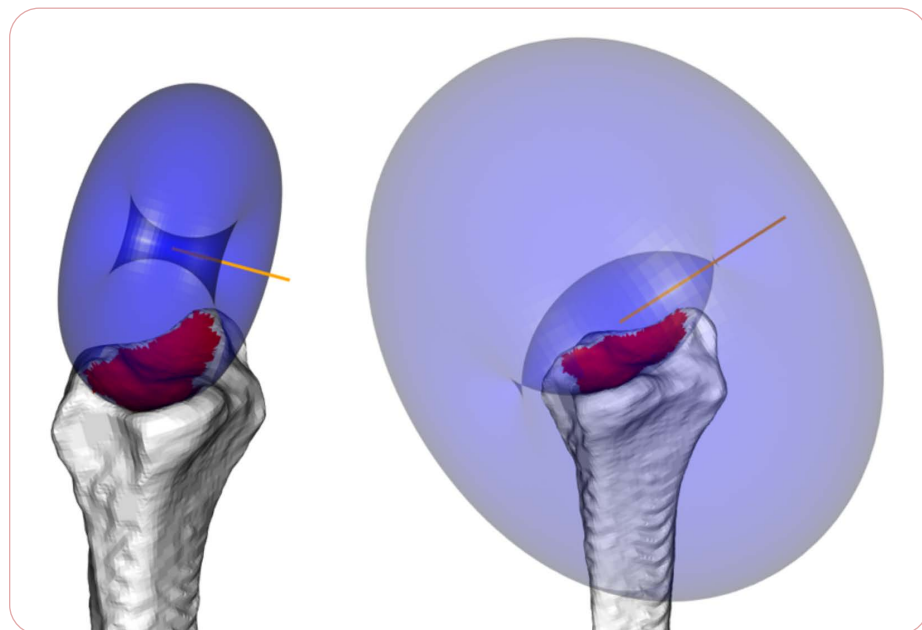
Publications

En lien avec les thématiques du RHU REBONE

- Donnez M., Ollivier M., Munier M. *et al.* Are three-dimensional patient-specific cutting guides for open wedge high tibial osteotomy accurate? An in vitro study. *J Orthop Surg Res* 13, 171 (2018).
- Athlani L, Chenel A, Berton P, Detam-maecker R, Dautel G. *Three-Dimensional Versus Radiographic Measurements for Analyzing Extra-Articular Distal Radius Malunion.* *J Hand Surg Am.* 2020 Oct;45(10):984.e1-984.e7.
- Winter R, Citarel A, Chabrand P, Chenel A, Bronsard N, Poujade T, Gauci MO. *An Evaluation of the Reliability of Manual Landmark Identification on 3D Segmented Wrists.* *J Bone Joint Surg Am.* 2024 Feb 21;106(4):315-322.
- Athlani L, Chenel A, *et al.* Computer-assisted 3D preoperative planning of corrective osteotomy for extra-articular distal radius malunion: A 16-patient case series. *Hand Surgery and Rehabilitation* 2020; 39: 275-283.
- Keller M, Guebeli A, *et al.* In-hospital professional production of patient-specific 3D-printed devices for hand and wrist rehabilitation. *Hand Surgery and Rehabilitation* 2021; 40: 126-133.



● Figure 1 - Exemple de mesures manuelles classiques sur le radius distal.



● Figure 2 - Méthodes de mesures automatiques du radius distal à l'aide de formes géométriques toroïdales ajustées sur la surface articulaire. Les surfaces de contact sont visualisées en rouge.

également appliquée lors de REBONE pour les fractures du plateau tibial et de l'acétabulum.

D'une manière générale, la vision de Newclip Technics dans le cadre de ce consortium est de transformer la prise en charge des traumatismes osseux complexes en fournissant des solutions

sur mesure, en réduisant les complications post-opératoires et en accélérant la récupération des patients. En combinant son expertise en modélisation, en repositionnement des segments osseux, et en impression 3D avec les technologies de pointe développées dans le projet PER-Forms et dans le RHU REBONE, Newclip Technics participe à façonner un avenir où

chaque intervention chirurgicale sera parfaitement adaptée aux besoins spécifiques du patient.

Thibault POUJADE

Directeur scientifique

Contact

tpoujade@newcliptechnics.com

TRANSFORMER UNE VALEUR TECHNOLOGIQUE EN VALEUR D'USAGE

● LE DIGITAL MEDICAL HUB (DMH) ET SES ANTENNES

Le Digital Medical Hub (DMH), créé par l'AP-HP en 2021, est une société d'open innovation dédiée à la transformation numérique de la santé. Son objectif est de soutenir les projets et solutions d'e-santé pour améliorer la recherche médicale, ainsi que l'accès, la qualité et l'efficacité des soins. Le DMH accompagne les entreprises, start-ups ou non, dans la transformation d'idées et technologies en produits de santé, en identifiant les cas d'usage et en optimisant les parcours de soin. Il offre un support aux porteurs de projets, qu'ils soient industriels ou académiques, pour le développement, l'évaluation, et la commercialisation de solutions e-santé, transformant ainsi la technologie en valeur clinique pertinente.

Le Digital Medical Hub compte de nombreux partenaires et participe activement à l'animation de la communauté médicale d'innovation. Il est à l'origine de la création de synergies entre start-ups, PME, groupes industriels, médecins, experts, chercheurs, établissements, structures de soins et laboratoires de recherche. Ces différents aspects concrétisent ainsi sa mission de « Hub ». Le savoir-faire et les compétences sont reconnues sur la valorisation (market access), le développement clinique, l'évaluation et la validation scientifique des solutions et projets en e-santé. Au regard de son positionnement unique, au carrefour des acteurs et parties prenantes de l'innovation, l'ambition centrale du DMH est de transformer l'approche des soins afin de mieux répondre aux besoins des hôpitaux et d'évaluer rigoureusement les nouveaux produits grâce à une méthode unique et responsable (évaluation 360°). Cette méthodologie prend en compte les aspects réglementaires, technologiques, commerciaux et cliniques, avec une analyse centrée sur la réponse aux besoins médicaux et



professionnels. Les catégories d'impact évaluées incluent les dimensions cliniques, organisationnelles, économiques, la qualité de vie au travail, ainsi que l'empreinte carbone et l'éthique.

Aujourd'hui, le DMH a déjà accompagné plus de 70 partenaires industriels et 120 projets. Son implication est également actée dans la mise en place d'un Entre-pôt de Données de Santé (EDS), et d'un Tiers-Lieux d'Expérimentation. Dans le but d'animer la communauté médicale et de rencontrer de nouveaux porteurs de projets, le DMH est également cofondateur du salon MedInTechs et du programme de formation HIIT à destination des start-ups.

Ainsi, depuis sa création, le DMH a développé son expertise et son réseau, s'est adapté aux besoins de ses partenaires et a acquis une notoriété dans la santé. Afin de se rapprocher des acteurs du territoire, le DMH a décidé d'ouvrir trois antennes en région :

- DMH AURA en Auvergne Rhône Alpes, spécialisé dans la conception produit et le réglementaire ;
- DMH Atlantique en Nouvelle-Aquitaine et Loire-Atlantique, rattaché à un Tiers-Lieux d'expérimentation et spécialisé en oncologie ;
- DMH Azur, en PACA, apportant une dimension recherche, développement et innovation sur les thématiques de chirurgie, robotique et matériaux innovants. De ce fait, le DMH Azur est étroitement lié au projet RHU ReBone.

● LE RHU REBONE ET LE DMH AZUR

Le projet RHU ReBone tend à transformer drastiquement la chirurgie traumatologique, améliorant ainsi la qualité de travail des chirurgiens et de vie des patients. Des avancées technologiques majeures pour les chirurgiens arriveront sur le marché à la suite de ce projet. Les missions du Digital Medical Hub au sein du RHU sont multiples. Dans un premier temps, une mission de coordination du projet, et d'accompagnement à la gestion des données lui est attribuée. A cet effet, l'outil Adlin Sciences (plateforme collaborative) a été proposé et adopté pour la simplification des échanges de données au sein du consortium. Dans un second temps, le DMH assiste les équipes dans le développement de produits créés, en gérant les aspects liés à la propriété intellectuelle, tout en suivant une démarche de Market Access. Enfin, le DMH sera impliqué dans la mise en œuvre de l'étude préclinique, notamment à travers la qualification préliminaire des algorithmes développés. Ainsi, les actions mises en œuvre ont pour but de nourrir et réussir l'exploration profonde des cas d'usages et d'intensifier les activités entre les chercheurs et les partenaires privés du projet.

Pour conclure, à travers le RHU ReBone, le Digital Medical Hub se destine à de nouvelles perspectives et s'ancre dans le monde de la recherche, en confirmant sa démarche d'ouverture à la pluridisciplinarité et à la collaboration au sein de projets d'envergure. Grâce à la qualification des besoins du monde hospitalier, la connaissance des contraintes liées à l'introduction de nouvelles solutions innovantes et le recul sur l'état actuel du marché, la complémentarité évidente du DMH avec les chercheurs n'est plus à prouver. Il est en capacité d'assister les chercheurs dans le développement de solutions novatrices, et ce, dès leur conception. De plus, par l'intermédiaire de son réseau d'entreprises

accompagnées et de son expertise, le DMH peut se positionner à l'initiative de sujets de recherche collaboratifs publics/privés répondant à des besoins clairement iden-

tifiés. La recherche étant un noyau riche d'innovations, des passerelles naturelles sont amenées à se former entre le DMH et les partenaires académiques.

Mathieu GRAJOSZEX

Contact

mathieu.grajoszex@dmh-aphp.fr

AGUILA : PROJET RHU REBONE

● **PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE**

AGUILA-Expertise DM est spécialisée dans l'ingénierie et la conformité réglementaire des dispositifs médicaux. Notre mission est de sécuriser le développement de solutions médicales innovantes en accompagnant les projets de R&D du secteur, depuis leur phase d'idéation jusqu'à leur mise sur le marché. Nous veillons à ce que chaque étape respecte les exigences réglementaires en formant les équipes, en les aidant à constituer les dossiers nécessaires et, surtout, en mettant en place des méthodologies de développement adaptées pour garantir la conformité et la sécurité des dispositifs.

● **NOTRE INTERVENTION DANS LE PROJET REBONE**

Notre équipe pluridisciplinaire est composée d'ingénieurs spécialisés dans la conception et le développement des dispositifs médicaux, logiciels et dispositifs électro-médicaux, d'experts réglementaires sur ce domaine, et de spécialistes de la gestion de projet. Dans le cadre du projet RHU REBONE, notre expertise se concentre sur deux axes majeurs :

- Coordination technique et réglementaire : nous assurons la coordination entre les laboratoires qui développent les algorithmes d'intelligence artificielle du projet et les industriels qui intègrent ces algorithmes dans leurs solutions. Notre rôle consiste à garantir que les laboratoires respectent le cadre réglementaire propre au développement des logiciels considérés comme dispositifs médicaux, un domaine en pleine évolution qui nécessite une expertise précise.
- Développement d'un standard pour l'impression 3D : nous sommes également impliqués dans la rédaction d'un projet de norme visant à encadrer l'impression 3D d'implants chirurgicaux directement au sein des hôpitaux. Ce projet vise à formaliser les processus, assurer la qualité des implants et leur conformité aux standards internationaux.

● **COORDINATION TECHNIQUE ET RÉGLEMENTAIRE DANS LE CADRE DU PROJET RHU REBONE**

La solution globale développée dans le cadre de ce projet, fruit de la collaboration entre plusieurs partenaires, nécessite une gestion technique et réglementaire rigoureuse pour garantir son succès à long terme. Cette coordination est essentielle pour plusieurs raisons.

D'abord, elle assure que chaque composante technologique du projet soit fonctionnelle et puisse répondre aux critères de validation technique et clinique. Les partenaires travaillent sur des briques technologiques distinctes (modélisation de fractures, calcul des implants, impression 3D), et une bonne gestion technique permet d'assurer que toutes ces briques s'intègrent harmonieusement pour former une solution cohérente et opérationnelle.

Ensuite, la compatibilité entre les technologies développées par différents fournisseurs est un enjeu majeur. Les systèmes doivent être interopérables pour que les outils numériques, les algorithmes de calcul, et les processus d'impression 3D puissent fonctionner en synergie. Cela implique une étroite collaboration entre les partenaires afin d'établir des standards communs et des protocoles de communication technique qui garantissent l'efficacité du dispositif et l'interopérabilité entre les différentes parties qui le composent et qui interagissent entre elles.

Un autre défi central concerne l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans un tel outil. L'utilisation de l'IA, notamment pour la modélisation des fractures et le calcul des implants optimaux, apporte des avantages considérables en termes de précision et de personnalisation des soins. Cependant, elle soulève également des problématiques spécifiques. L'une des principales difficultés est d'assurer que les algorithmes produisent un résultat adapté au patient. Dans un contexte clinique où la sécurité des patients est primordiale, il est crucial que les décisions prises par l'IA soient compréhensibles par les profes-

sionnels de santé et vérifiables selon des critères cliniques établis. De plus, l'IA doit être rigoureusement validée pour prouver qu'elle fonctionne de manière fiable dans un large éventail de cas, ce qui impose des défis techniques et réglementaires supplémentaires, notamment en matière de certification des dispositifs médicaux basés sur l'IA. Notre vision est d'aborder l'intégration de l'IA dans ce projet suivant 3 axes. Tout d'abord une approche générique suivant le tout nouveau règlement européen UE 2024/1689 (aussi appelé AI Act) qui définit les règles harmonisées concernant les systèmes intégrant de l'IA. Ensuite, une approche basée sur les risques qui permet de spécialiser la gestion des risques traditionnelle ISO14971 (celle qui porte sur les dispositifs médicaux) aux systèmes d'IA, par exemple avec l'application de standards ou de normes telles que BS/AAMI 34971 :2023 (application de la norme ISO14791 aux systèmes IA qui utilisent l'apprentissage automatique). Enfin, nous intégrerons une approche concernant les essais à mettre en œuvre pour la vérification des systèmes d'IA, avec par exemple une adaptation de la norme ISO/IEC/TR 29119-11 :2020, qui définit les lignes directrices relatives aux essais portant sur les systèmes dotés d'IA.

En résumé, cette gestion technique et réglementaire n'est pas seulement une exigence administrative, elle constitue le fondement qui garantit la faisabilité et le succès global de la solution. Une gestion réglementaire proactive permet de s'assurer que les technologies développées ne sont pas seulement innovantes, mais qu'elles peuvent aussi être mises sur le marché en toute conformité, tout en répondant aux normes de sécurité et d'efficacité exigées.

Les industriels impliqués dans le projet disposent déjà d'une approche technique et réglementaire bien établie, et nous travaillerons en étroite collaboration avec eux pour nous conformer à leurs exigences.



Cependant, notre rôle clé sera de soutenir et d'accompagner les laboratoires de recherche qui ne sont pas toujours familiers avec les contraintes et le cadre strict du développement de dispositifs médicaux. Nous les aiderons à naviguer dans cet environnement complexe pour assurer que leurs innovations respectent pleinement les normes et réglementations, tout en facilitant leur intégration dans l'ensemble du projet.

● **DÉFIS ET ENJEUX DE L'IMPRESSION 3D DIRECTEMENT À L'HÔPITAL (POINT OF CARE)**

L'impression 3D directement à l'hôpital, ou « *point of care* », est l'un des aspects ambitieux du projet RHU REBONE, offrant des perspectives révolutionnaires pour la chirurgie orthopédique. En permettant la fabrication sur site d'implants personnalisés pour les patients, cette technologie pourrait transformer le processus chirurgical en rendant les soins plus rapides, plus précis et mieux adaptés aux besoins individuels des patients. Toutefois, elle pose également des défis importants, tant sur le plan technique que réglementaire.

● **Normes de qualité et de sécurité**

L'un des principaux défis réside dans la capacité à garantir la qualité et la sécurité des implants imprimés sur place. Contrairement à une fabrication centralisée en usine où les processus de production sont uniformisés et hautement contrôlés, l'impression 3D dans les hôpitaux nécessite la mise en place de protocoles rigoureux pour s'assurer que chaque implant respecte les mêmes standards de qualité.

Cela inclut le contrôle des matériaux (biocompatibilité), la calibration des machines, et la validation des processus de production pour garantir des résultats sûrs et conformes.

● **Certification**

La fabrication d'implants directement à l'hôpital soulève également des questions de certification réglementaire. Les dispositifs médicaux produits en usine sont soumis à des réglementations strictes avant leur mise sur le marché, mais dans le cas de l'impression 3D à l'hôpital, la dynamique change.

Il est nécessaire de définir comment ces implants sur-mesure, produits pour des besoins spécifiques et immédiats, peuvent être conformes aux réglementations en vigueur. Cela implique la rédaction de nouvelles normes (ce que nous souhaitons aborder dans ce projet) ou l'adaptation des réglementations existantes pour encadrer cette pratique tout en assurant la sécurité des patients.

● **Infrastructure et formation**

L'implémentation de l'impression 3D au sein des hôpitaux demande une infrastructure adaptée. Cela inclut l'acquisition de technologies d'impression 3D de pointe, la mise en place de salles dédiées à la fabrication, ainsi que la gestion logistique et technique de ces dispositifs médicaux nouvellement fabriqués in-situ.

De plus, les équipes médicales et techniques doivent être formées non seulement à l'utilisation des machines, mais aussi aux bonnes pratiques de fabrication et de contrôle qualité, ce qui représente un investissement en temps et en ressources pour chaque établissement.

● **Interopérabilité des technologies**

Un autre enjeu majeur est l'intégration fluide entre les différentes technologies qui composent la chaîne de production d'un implant personnalisé. Les logiciels de modélisation de fractures, les systèmes d'optimisation d'implant, et les imprimantes 3D doivent être totalement compatibles entre eux, ce qui nécessite le développement de standards et de protocoles communs. Il est essentiel que les briques technologiques utilisées puissent communiquer efficacement et garantir que les données, du diagnostic à l'impression finale, soient traitées de manière cohérente et sans perte de qualité.

● **NOTRE EXPERTISE ET VISION AU SEIN DU CONSORTIUM RHU REBONE**

Au sein du consortium RHU REBONE, AGUILA-Expertise DM apporte une expertise indispensable en ingénierie réglementaire, essentielle pour s'assurer que les solutions développées respectent les normes internationales et sont prêtes pour une mise sur le marché rapide et sécurisée. Notre vision est de contribuer à rendre ces innovations accessibles à un maximum de patients tout en assurant sécurité, qualité, et performances pour les produits développés.

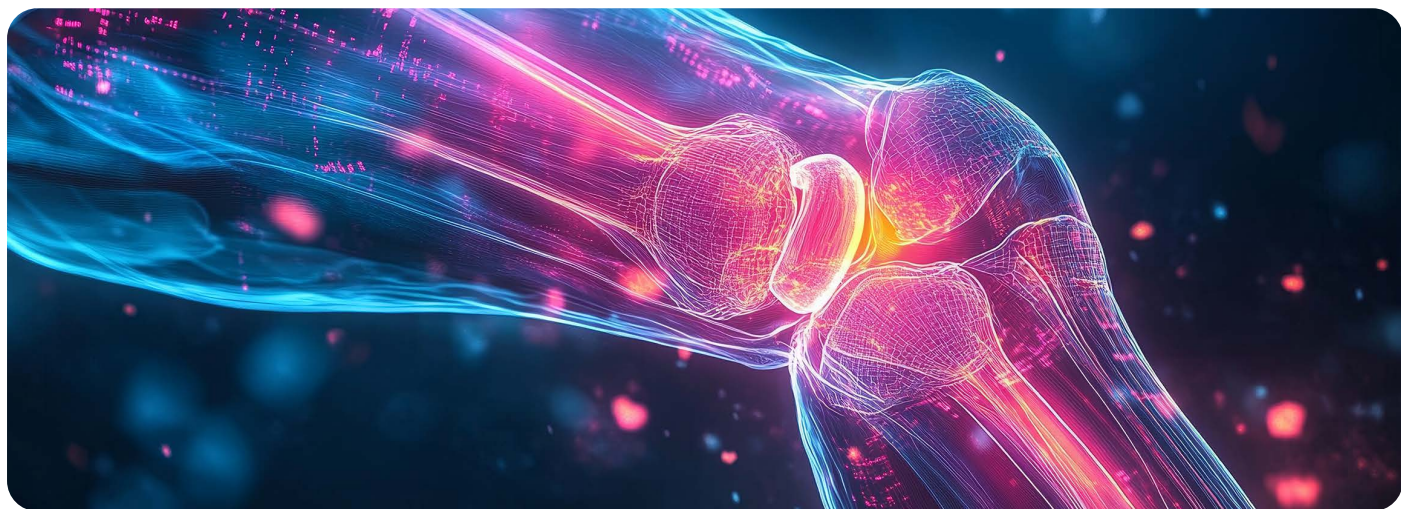
Nous croyons fermement que l'avenir de la chirurgie orthopédique passe par une adoption massive des technologies numériques et de l'impression 3D, et nous sommes convaincus que le projet RHU REBONE joue un rôle clé dans cette transformation.

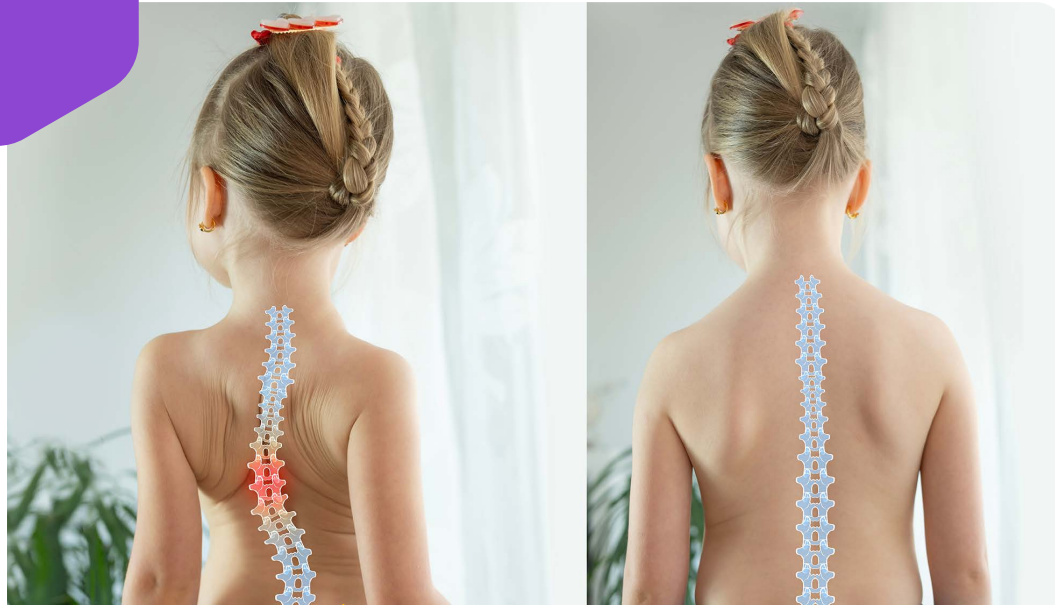
Matthias FLEGAR

Responsable Business Unit Expertise DM

Contact

matthias.flegar@aguila.fr





MISSION D'ÉTUDE INTERNATIONALE EN ORTHOPÉDIE PÉDIATRIQUE

Septembre 2023 / Mars 2024

Par **Tristan LANGLAIS**, PHU, Boursier SOFCOT 2023 et GECO 2023

* Service de chirurgie orthopédique et traumatologique infantile, Hôpital des enfants, CHU Purpan, Université de Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse

* Groupe milieux poreux et biologiques, Institut de mécanique des fluides de Toulouse (IMFT), Unité de recherche mixte (UMR 5502), Toulouse

● OBJECTIF DE LA MISSION

- Partager et approfondir mes connaissances sur le thème des déformations rachidiennes de l'enfant et de l'adolescent.
- Découvrir un fonctionnement, une organisation différente de l'activité clinique et de recherche en orthopédie.
- Créer un réseau et des liens avec des collaborateurs internationaux.

● PRÉSENTATION DE LA MISSION

Cette mission s'est déroulée de septembre 2023 à mars 2024. Durant cette période, j'ai visité quatre services internationaux dans trois continents différents et participé à deux congrès.

J'ai débuté mon périple aux Etats-Unis à Seattle où j'ai assisté au congrès annuel de la SRS (*Scoliosis Research Society*). Cette société, fondée en 1966, compte environ 1 000 membres internationaux dont quelques Français (chirurgiens, chercheurs, médecins, rééducateurs, kinésithérapeutes

et orthésistes entre autres) qui sont admissibles selon des critères précis.

J'ai poursuivi ma route au Canada à Montréal (septembre-octobre 2023). Le séjour a débuté par le congrès de l'ICSGDD (*International Consortium for Spinal Genetics, Development and Disease*) au centre hospitalier universitaire (CHU) de Sainte-Justine. Ce consortium a été fondé en 2011 par la Fondation Cotrel et il est composé d'un groupe multidisciplinaire de praticiens et de chercheurs intéressés par les déformations rachidiennes et leur physiopathologie. J'ai poursuivi mon séjour au CHU de Sainte-Justine (hôpital mère-enfant) dans le département de chirurgie orthopédique infantile dirigé par le Dr Stefan Parent (MD, Ph.D et Professeur de l'Université de Montréal). Les praticiens répartissent leurs activités entre les déformations rachidiennes, les affections du nouveau-né, la prise en charge des paralysés cérébraux, les atteintes liées aux pathologies du sportif et la traumatologie. Chaque journée débutait par une réunion à 7h45 au cours de laquelle étaient abordés

différents thèmes principaux selon le jour de la semaine (« chirurgie élective opérée », « chirurgie élective à opérer », revue de la littérature, etc.). L'activité clinique se terminait aux alentours de 16 heures. En moyenne, une salle et demie de bloc opératoire par semaine était dédiée à l'orthopédie infantile (figure 1).



● Figure 1 - Inscription sur la porte de l'entrée de la salle opératoire d'orthopédie (CHU Sainte Justine, Montréal, Canada).

Mon deuxième séjour s'est déroulé à Séville (novembre-décembre 2023), au sein de l'équipe « *Orthopediatrica* » du groupe « *Instituto Hispalense de Pediatria* », qui exerce exclusivement une activité « privée ». Cette équipe est dirigée par le Dr David Farrington (MD), qui était le chef de service du département de chirurgie orthopédique infantile à l'hôpital universitaire Virgen del Rocío à Séville de 2006 à 2017. Pour des raisons administratives, le Dr Farrington et toute son équipe (3 chirurgiens à temps plein) ont développé une activité similaire en libéral. Leurs activités principales se concentrent sur les déformations rachidiennes, les déformations des membres, la prise en charge des

paralysés cérébraux et les affections du nouveau-né. La consultation débutait vers 9 heures le matin pour terminer aux alentours de 20h30 (figure 2). Deux journées par semaine étaient consacrées à l'activité chirurgicale avec deux salles opératoires.

J'ai poursuivi mon voyage à Turku, la capitale médiévale historique de la Finlande (janvier-février 2024) (figure 3). J'ai ainsi pu suivre et collaborer avec l'équipe de chirurgie infantile menée par le Dr Ilkka Helenius (MD, Ph.D et Professeur de l'Université de Turku). Ce service prend en charge les pathologies orthopédiques, viscérales et plastiques. Mon programme hebdomadaire s'articulait autour de deux

jours de consultation et de trois journées d'interventions chirurgicales, dont deux étaient consacrées à la correction des déformations rachidiennes. La journée débutait par une réunion à 7h45 et l'activité clinique se terminait aux alentours de 15 heures.

J'ai terminé mon périple à Tokyo (février-mars 2024), à l'Hôpital universitaire de Keio dans le département de chirurgie rachidienne composé de chirurgiens orthopédistes et dirigé par le Dr Kota Watanabe (MD, Ph.D et Professeur assistant de l'Université de Keio). L'activité s'articulait autour de la prise en charge des déformations rachidiennes de l'enfant et de l'adulte, des pathologies dégénératives et des lésions tumorales de la moelle épinière et du rachis. La journée type débutait vers 7h45 avec deux réunions hebdomadaires et se terminait vers 18h00. Deux à trois fois par semaine, des réunions de département ou avec les autres centres de Tokyo étaient organisées le soir en distanciel. Le programme opératoire était réparti sur deux jours par semaine avec un samedi sur deux en plus (figure 4). L'activité de consultation se regroupait sur deux ou trois demi-journées. Les praticiens non universitaires et les « fellows » japonais ont deux jours par semaine de consultation clinique dans le secteur privé et en dehors du centre universitaire.

Vous pourrez retrouver chaque centre visité sur la carte proposée (figure 5), accompagné de quelques données démographiques aidant à comprendre la répartition, les rythmes de travail des équipes et les investissements en termes de santé publique à fournir. Nous rapporterons notre compte rendu de mission selon nos objectifs au début du projet.



Figure 2 - Accueil, bureau et salle de consultation à IHP Orthopediatrica (Séville, Espagne). Illustration d'une salle dédiée à la réalisation d'échographie de hanche du nouveau-né réalisée par les chirurgiens.



Figure 3 - Chemin matinal à pied pour rejoindre le centre universitaire hospitalier infantile de Turku (Finlande).



Figure 4 - Salle opératoire dédiée au rachis au centre hospitalier universitaire de Keio (Tokyo, Japon).

LES DÉFORMATIONS RACHIDIENNES DANS TOUS LEURS ÉTATS

Dès le début de la mission, j'ai pu observer qu'un certain nombre de praticiens se questionnaient sur le nombre d'implants nécessaires dans une arthrodèse et sur la préservation de la mobilité lombaire dans la scoliose idiopathique. L'équipe Polytechnique de Montréal (Carl Eric Aubin Ph.D et Professeur de l'Université de Montréal) a communiqué à la SRS à propos d'un essai clinique biomécanique [1]. Cette étude d'équivalence a émis comme hypothèse qu'une construction à fort ou faible densité d'implants procurait des résultats similaires en termes de correction tridimensionnelle dans les scolioses Lenke 1A. Le titre de l'essai intitulé « *Minimize Implants Maximise Outcomes* » exprimait une certaine idée de pensée. Les simulations numériques n'ont pas révélé de différence significative quant à la correction du plan frontal, mais elles ont montré une tendance non significative à une meilleure

correction du plan axial lorsque la densité d'implants était élevée dans la zone apicale. La meilleure correction avec le minimum d'implants a été obtenue pour un montage à 9 niveaux avec une paire de vis sur la première et la dernière vertèbre instrumentées et une paire de vis sur la vertèbre apicale, celle du dessus et du dessous. Je n'ai pas retrouvé en pratique cette volonté de diminuer le nombre d'implants dans les centres visités mais le temps de la réflexion a débuté. La préservation de la mobilité lombaire était une obsession pour la majorité des praticiens. Cette volonté était parfaitement assumée et, dans certains cas, se faisait au prix d'une courbure résiduelle lombaire dans les cas d'une fusion sélective et/ou d'un tilt résiduel du premier disque sous l'arthrodèse. Lorsque la dernière vertèbre instrumentée était incertaine, une imagerie peropératoire était effectuée après les manœuvres de correction. Un tilt du plateau supérieur de la première vertèbre non instrumentée [2] ne dépassant pas 10° pouvait être accepté.

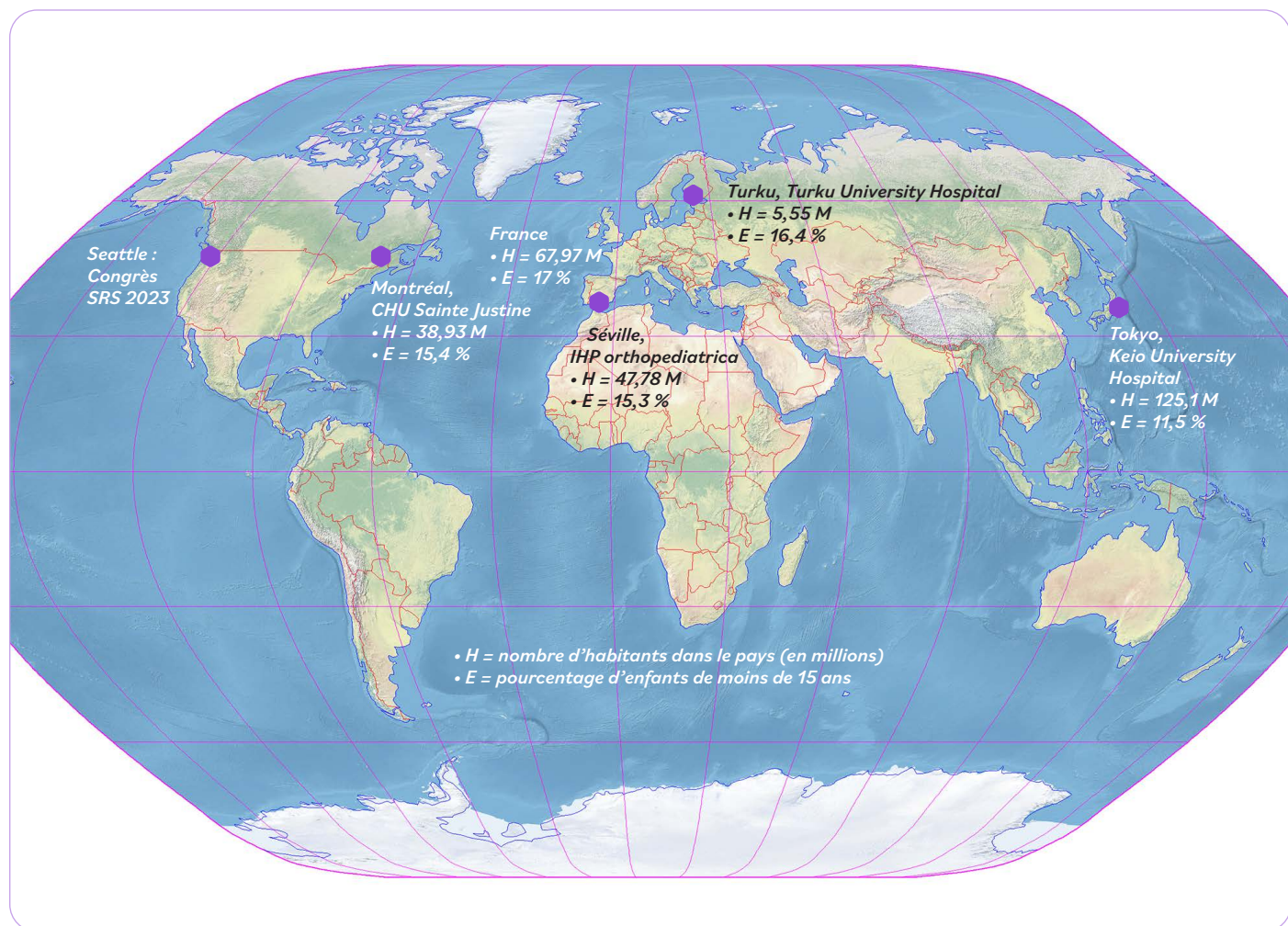


Figure 5 - Les différents sites visités sur un planisphère.

Contrairement à ce que j'ai observé durant ma formation, les kinésithérapeutes jouaient un rôle important dans le parcours de soins d'une déformation rachidienne. Dans trois centres visités, les kinésithérapeutes participaient et aidaient le praticien dans le suivi des enfants et adolescents. Leur rôle correspondait à examiner le patient et reporter ses scores cliniques. Les kinésithérapeutes participaient également à des projets de recherche notamment sur l'intérêt de la rééducation dans la progression d'une scoliose.

Le troisième point important qui m'a interpellé est la recherche de paramètres quantitatifs précis pour déterminer la croissance restante. De nombreux paramètres anthropométriques (âge, genre, taille assise et debout) et osseux sont utilisés pour surveiller une scoliose : le signe de Risser, la fermeture du cartilage triradié, la fusion du grand trochanter, les fusions des épiphyses humérales ou la classification de Sanders. L'association de ces paramètres permet une meilleure appréciation de la croissance restante [3]. Lors du congrès de l'ICSGDD, un des travaux de recherche s'intéressait à la protéine CXM, issue des produits de dégradation du collagène X (COLX). COLX est une protéine de la matrice extracellulaire produite par les chondrocytes hypertrophiques des plaques de croissance. La partie NC1 de COLX (CXM) se détache de la protéine complète au cours de la croissance osseuse sous l'effet d'enzymes protéolytiques. Elle est ensuite libérée dans la circulation sanguine. La protéine CXM est quantifiée par une prise de sang, en utilisant un test ELISA [4]. Sa concentration sanguine était corrélée à la vitesse du gain de taille et aux stades de la classification de Sanders [5]. Ce test biologique pourrait devenir un complément aux paramètres classiques radiographiques.

En routine clinique, le signe de Risser est le paramètre le plus utilisé et déterminé sur la radiographie du rachis avec le bassin. Il existe deux méthodes pour déterminer le stade de Risser selon la classification européenne ou américaine [6]. La classification de Sanders [5] a montré qu'elle permettait une meilleure discrimination de la croissance restante [7] notamment en cas de stade 0 selon Risser. L'utilisation de cette classification nécessite la réalisation de la radiographie de la main. J'ai ainsi pu voir que nous pouvions déterminer le stade de Sanders sur la radiographie biplanaire du rachis en entier avec une bonne fiabilité [8]. En positionnant les avant-bras vers l'avant, paumes des mains ouvertes contre

la cabine. La position induite bras en avant chez l'adolescent a montré une différence de plus ou moins 5° sur les paramètres sagittaux.

Durant les dernières années, la détermination précise de la croissance rachidienne restante suscite un grand intérêt car elle est d'une grande utilité afin d'affiner les indications et de décider du moment idéal pour une procédure de « *vertebral body tethering* ».

États des lieux des pratiques du « *vertebral body tethering* » (VBT)

Parmi les quatre centres visités, les faits sont clairs : le nombre de procédures diminue. À Sainte Justine, 10 à 20 procédures sont réalisées en moyenne par an et ce centre cherche à affiner ses indications. L'équipe de Séville a réalisé quelques cas puis a abandonné la technique au profit des arthrodèses thoraciques sélectives. À Turku, 5 procédures sont réalisées en moyenne par an. Enfin, le gouvernement japonais n'autorise pas l'utilisation de la technique VBT. Afin d'avoir une idée sur le nombre de procédures réalisées, nous pouvons nous rapporter à la publication récente du « *Pediatric Spine Study Group* » [9]. Sur les 64 chirurgiens nord-américains ayant participé à l'étude, 37,1 % réalisaient entre 0 et 5 procédures par année, 22,9 % entre 6 et 10, 11,4 % entre 11 et 20 et 28,6 % réalisaient plus de 20 procédures par année.

Cette tendance s'est confirmée à la SRS avec une diminution du nombre de communications sur le VBT par rapport aux années précédentes. Nous avons retenu une étude sur le VBT à la SRS 2023, nommée pour le prix de la meilleure communication clinique. Cette étude [10] évaluait, sur des radiographies, les mobilités sagittales et latérales pré- et postopératoires après VBT antérieur comparé aux arthrodèses chez 28 patients porteurs d'une scoliose idiopathique de l'adolescent en région thoracique. Les patients étaient appariés selon la topographie de la courbure et la dernière vertèbre instrumentée. Aucune différence n'a été observée pour la mobilité latérale (T1-S1), mais une différence de 20° de moyenne pour la mobilité sagittale (T1-S1) a été constatée.

Nous retiendrons de notre mission que le patient « idéal » pour la réalisation d'un VBT par voie antérieure est un patient porteur d'une scoliose idiopathique juvénile avec un angle de Cobb frontal compris entre 40° et 60°, un signe de Risser égal

à 0, un stade de Sanders compris entre 2 et 3, et dont le BMI est normal.

Sécurité de l'acte opératoire

Un autre point fort dans la prise en charge chirurgicale m'a particulièrement marqué ; même si la conjoncture financière mondiale était propice à des restrictions budgétaires, il n'y avait aucun débat sur les moyens mis en place pour améliorer la sécurité de l'acte opératoire.

À l'exception de Sainte Justine où le système « senior-assistant » ressemblait fortement au nôtre, chaque intervention était effectuée par un chirurgien du rachis en chef assisté d'un autre chirurgien du rachis titulaire (et ayant une certaine expérience, car âgée de plus de 40 ans). Il est vrai que cela soulève la question de la formation et du compagnonnage des internes et assistants. Dans chaque centre, toutes les procédures chirurgicales se sont déroulées avec le représentant de l'industriel responsable du matériel posé. Son rôle (hors ou à l'intérieur du champ opératoire) était différent selon l'équipe mais il avait un rôle défini. D'autre part, chaque centre bénéficiait d'un neuromonitoring pour tous les cas opérés installé et surveillé par un neurologue (dans 3 centres) et un technicien (dans un centre). Le neuromonitoring « isolé » avec le module chirurgical n'est pas envisagé. Le contrôle 3D des implants rachidiens était réalisé dans deux centres alors qu'un troisième centre allait se doter d'un scanner de bloc opératoire dans les prochains mois. Un outil de navigation rachidien était également à disposition dans deux centres mais il était réservé aux cas complexes ou aux instrumentations cervicales.

En ce qui concerne la navigation, j'ai ainsi pu utiliser une nouvelle technologie appelée « Flash », qui utilise la reconnaissance de surface sans rayons X en peropératoire [11]. Cette technologie se base uniquement sur un scanner du rachis préopératoire. De plus, cet outil ne nécessite pas de personnel ajouté et la machine est peu encombrante. L'apprentissage de son utilisation se concentre sur la bonne calibration par « flash » du champ opératoire tous les deux étages vertébraux en moyenne.

● L'ORTHOPÉDIATRIE : À LA CROISÉE DES CHEMINS

Cette mission m'a permis d'apprendre, d'échanger et de partager autour d'une thématique : les déformations rachidiennes de l'enfant et de l'adolescent. Elle m'a

également permis de mener une réflexion sur le dynamisme clinique et de recherche d'un service d'orthopédie infantile.

Quelles idées « nouvelles » dans la prise en charge chirurgicale des membres ?

Je retiendrai deux procédures chirurgicales : l'hémi-épiphysiodèse bilatérale du fémur proximal chez les paralysés cérébraux et l'utilisation du S53P4 Bioactive Glass (Bonalive® ; Bonalive Biomaterials Ltd ; Turku ; Finlande) dans le comblement chirurgical des tumeurs bénignes osseuses infantiles.

Hémi-épiphysiodèse du fémur proximal

Cette procédure a été décrite dans la littérature pour la première fois en 2006 chez des cochons par une équipe Taiwanaise [12]. Son principe repose sur une modulation de croissance qui, en induisant une coxa vara, permet une diminution de l'excentration de hanche chez des enfants paralysés cérébraux. Le principe technique repose sur la mise en place d'une vis dans la partie inférieure de l'épiphyse. Dans le plan antéro-postérieur, la vis pourra être légèrement postérieure afin de diminuer l'antéversion excessive présente chez ce type de patient. Dans ces cas précis, les enfants sont jeunes et il est préférable d'utiliser des vis de 3.5 mm filetées sur tout le long afin de faciliter l'ablation de matériel. Dans deux articles récents [13, 14], les résultats sont contrastés et permettraient de diminuer le nombre de reconstructions fémoro-acétabulaires mais ces résultats sont d'un faible niveau de preuve. De plus, il convient d'informer la famille que dans la majorité des cas, la vis devra être changée au cours de la croissance. De l'expérience de notre mission, nous retiendrons comme indications possibles les patients présentant une paralysie cérébrale ou une amyotrophie spinale infantile âgés de moins de 6 ans, avec une coxa vara induisant une excentration (indice de Reimers entre 40 % et 80 %) et une hanche centrée en abduction. Nous notons que cette technique ne se substitue pas au traitement fonctionnel et à l'installation en abduction des patients afin de lutter contre les rétractions.

Utilisation du S53P4 Bioactive Glass

Le premier verre bioactif, Bioglass® 45S5, a été mis au point aux États-Unis par l'équipe du professeur Hench à la fin des années 1960 [15]. Dans les années 1980, d'autres compositions de verre ont été étudiées à Turku, en Finlande. Le verre bioactif S53P4 répondait à toutes les exigences physiques et biologiques

souhaitées. Ce dernier est un ostéoconducteur et serait efficace dans la prise en charge chirurgicale des tumeurs osseuses bénignes [16, 17, 18]. Néanmoins, dans un essai clinique prospectif récent [19] réalisé chez 51 enfants randomisés selon la technique de comblement (soit un groupe verre bioactif S53P54 et un groupe autogreffe), avec un suivi de deux ans, les résultats n'ont pas montré de différence selon les groupes en termes de récurrence et de reprise chirurgicale.

Quelle organisation pour un service de chirurgie infantile orthopédique et traumatologique ?

Je retiendrai de cette mission que la recherche est au centre de l'activité hebdomadaire d'un service universitaire de chirurgie infantile. Les praticiens universitaires organisent et bénéficient de larges plages de recherche dans un environnement de travail organisé afin d'être le plus productif possible. Le point me paraissant le plus important est l'unicité du lieu. Nous pouvons prendre comme exemple le

centre hospitalier universitaire de Sainte Justine dépendant de l'Université de Montréal. La consultation se situe devant l'entrée principale, où se trouve également une salle comportant une cabine EOS® (EOS imaging) dédiée à la clinique ainsi qu'une cabine EOS® (EOS imaging) dernière génération pour la recherche exclusivement. Dans la continuité de l'espace réservé à la consultation se trouve l'institut TransMedTech. C'est un lieu destiné à la recherche scientifique (salle de réunion, espace de travail pour doctorant, laboratoire numérique, moulage de corset, etc.). L'Institut est un espace collaboratif réunissant Polytechnique Montréal, le CHU de Sainte-Justine, l'Université de Montréal entre autres afin de faciliter et optimiser la mise en œuvre de nouvelles technologies médicales dans le système de santé (figure 7). Le laboratoire de génétique ou de biologie se situe à proximité et les projets de recherche sur la scoliose sont parmi les plus actifs. Enfin, le centre des congrès se situe à l'intérieur du même bâtiment accueillant de multiples manifestations.

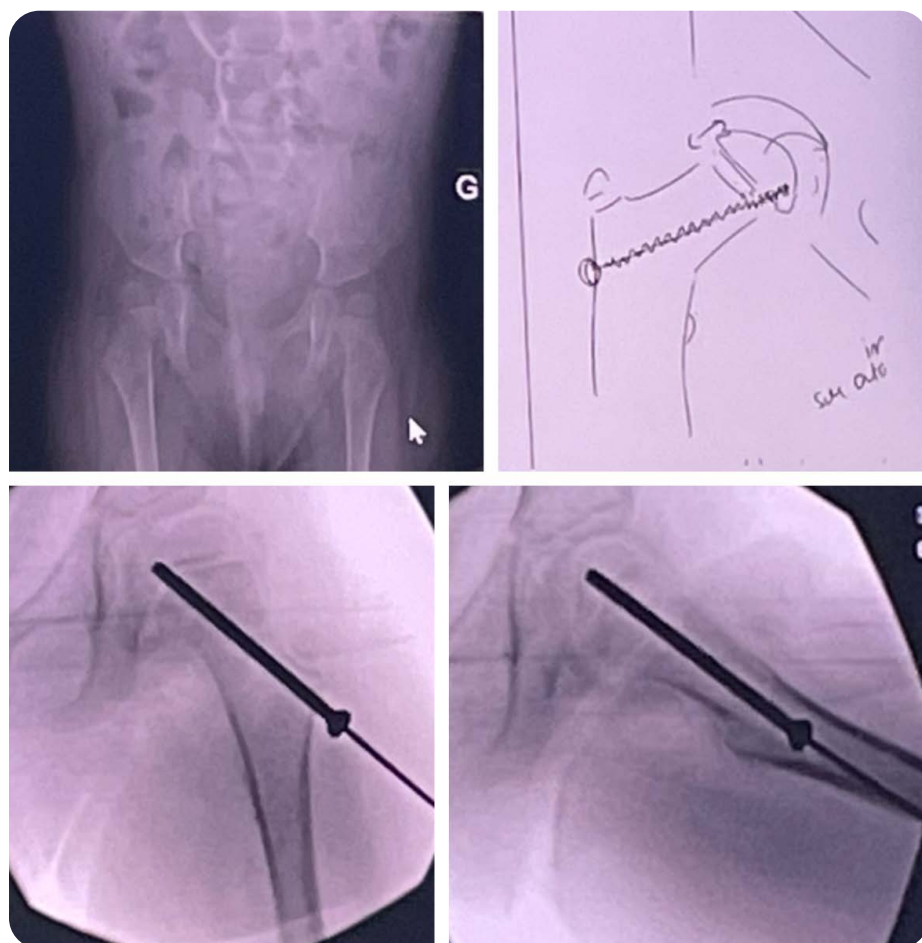


Figure 6 - Exemple de cas d'une amyotrophie spinale infantile de type I qui a bénéficié d'une hémi-épiphysiodèse du fémur proximal bilatérale.

En outre, une assistante de recherche travaillant à temps plein dans le service d'orthopédie infantile se consacre aux études cliniques et peut guider les étudiants en maîtrise ou les cliniciens. Cette organisation est en train de se mettre en place dans de nombreuses spécialités de différentes villes en France mais, d'après mon expérience, il n'existe pas d'organisation aussi efficace en orthopédie infantile. Nous sommes à la croisée des chemins.

Le second point qui m'a marqué correspond aux solutions apportées face aux difficultés structurelles rencontrées. Pour remédier aux difficultés d'accès au bloc opératoire, un centre hospitalier universitaire a décidé de signer une convention avec un groupe privé afin d'obtenir des plages opératoires régulières. D'autre part, les équipes deviennent de plus en plus nombreuses et le poids de la charge administrative est important. Dans les services universitaires visités, le chef de service est responsable des tâches administratives telles que s'assurer de la permanence des soins, de la répartition des vacations opératoires ; il est le représentant de l'équipe médicale auprès de la direction hospitalière. Les praticiens universitaires sont quant à eux les représentants de la faculté et ont comme mission d'organiser et de mener les enseignements, les projets de recherche et de gérer le flux des internes et des assistants (résident ou fellow). Il devient de plus en plus courant que ces deux fonctions ne soient pas cumulées et qu'une répartition des tâches soit faite. Nous sommes à la croisée des chemins.

● L'EXPÉRIENCE PERSONNELLE

Après ces années d'internat et de clinicat, cette mission a été une véritable période de régénération. Elle m'a permis de m'ouvrir, d'appréhender des cultures diverses et de découvrir des pratiques différentes pour un même objectif : le soin. C'était déjà quelque chose que je souhaitais faire à la fin de mon adolescence pour découvrir les différentes méthodes d'entraînement et d'approche du rugby, sport que je pratiquais à un niveau national. Je ne l'avais pas réalisé mais, vingt ans plus tard, j'en ai eu l'opportunité pour ma seconde passion, l'orthopédie. Ces six mois m'ont permis de mieux me connaître d'un point de vue personnel et de remettre en question certaines conceptions et savoir-faire appris auparavant.

Je recommanderai à tout jeune chirurgien de prendre le temps de faire une mission à l'étranger. Il existe différentes formes et

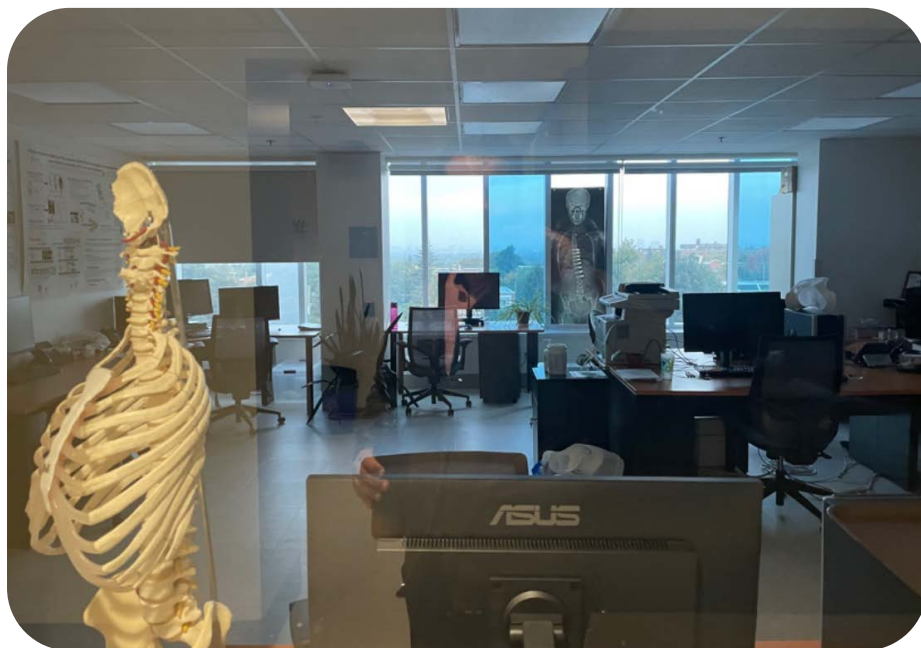


Figure 7 - Exemple d'un espace de travail de recherche adossé à la consultation clinique avec une radiographie de VBT antérieur en fond.

chacun doit trouver la « formule idéale » qui correspond à ses contraintes professionnelles et personnelles. Plusieurs formes de « fellowship » sont possibles dont le clinical fellow (un an rémunéré avec une fonction de soins), le research fellow (idéal lorsqu'on souhaite augmenter son épreuve de titres). Après une longue période d'hésitation et plusieurs échecs au TOEFL (NDLR : tests d'anglais) pour « un clinical fellow », j'ai fait le choix d'un « observer fellow » de 6 mois. Le principal avantage est une certaine liberté dans le choix et le nombre de services visités. En contrepartie de cette liberté, cela demande une certaine cohérence dans le choix des services visités et une rigueur journalière. Ajouté à une présence et une ponctualité obligatoire quotidienne, je m'étais mis comme obligation de lire deux articles du service visité et de faire une heure de cours d'anglais chaque jour. En tant qu'« observer fellow », nous ne sommes théoriquement pas autorisés à participer activement aux activités de soins mais cela est en pratique un peu différent hors continent nord-américain.

Cette mission m'a permis d'échanger et de prendre contact avec mes futurs collègues internationaux. Elle a également facilité mon intégration dans les sociétés savantes internationales et ma participation à certains groupes de travail. Je me suis également rendu compte à quel point j'étais chanceux et fier de pouvoir bénéficier d'une « formation française », car elle est un modèle qui encourage la créativité et nous met rapidement face à nos responsabilités.

Enfin, si je devais retenir une expérience positive de cette mission, c'est le partage : le partage de notre courte ou longue expérience professionnelle, de nos habitudes et de nos vies familiales. La gentillesse des différentes équipes m'a beaucoup marqué et touché. J'espère pouvoir un jour leur rendre en les accueillant à mon tour.

Je finirai ce rapport par une de ses réflexions que nous avons eues avec un des séniors au cours d'un dîner. Nous parlions des divers lieux de conflit dans le monde et de l'impact que cela avait sur nos relations entre chirurgiens internationaux. Et nous sommes arrivées à la conclusion que cela n'a pas vraiment affecté nos échanges, puisque nous avions tous un objectif commun : le soin.

Remerciements

Ma femme et mes enfants pour tout. Ma famille et mes amis qui me soutiennent chaque jour. Mon équipe toulousaine qui m'a permis de me libérer pour cette mission. La SOFCOT, la SOFOP, le GECO et l'université de Toulouse III Paul Sabatier pour leur soutien financier. Toutes les équipes (CHU Sainte-Justine, IHP Orthopédia, Turku University Children Hospital, Keio University Hospital) qui m'ont accueilli et ouvert les portes de leurs équipes avec bienveillance, professionnalisme et passion. Enfin, je voudrais remercier tous les patients petits et grands que j'ai croisés durant cette mission et qui ont accepté ma présence.

Tristan LANGLAIS

Références

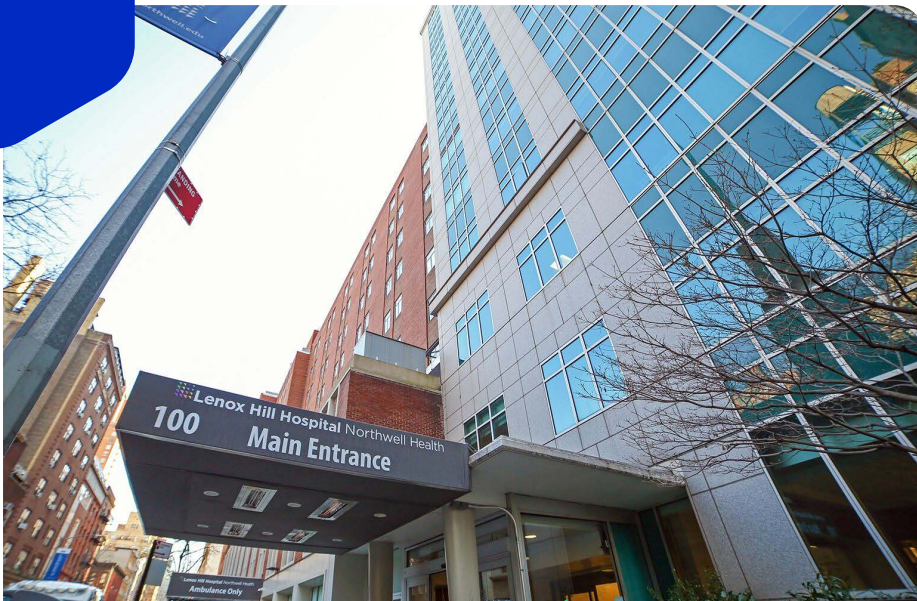
- [1] Aubin CE, Wang X, Chayer M., Polly DW, Bellefleur C, Caouette C, Parent S, Larson N. Does Screw Density Influence Transverse Plane Correction in AIS Instrumentation: A Comprehensive 3D Biomechanical Study Complementary to the MIMO Clinical Trial? *SRS 2023, 58th Annual Meeting, Seattle: Paper #20.*
- [2] Cho JH, Lee CS, Lee DH, Hwang CJ, Park JW, Jung HS, Park KB. Disc Wedge and Vertebral Body Tilt Angle Below Lower Instrumented Vertebra After Posterior Correction and Fusion in Patients With a Structural Thoracolumbar/Lumbar Curve: A Minimum 5-Year Follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44:E1436-E1442. doi: 10.1097/BRS.0000000000003164.
- [3] Greene JD, Yu K, Li DT, Furdock RJ, Li E, Liu RW, Cooperman DR. The Relationship of Olecranon Apophyseal Ossification and Sanders Hand Scores with the Timing of Peak Height Velocity in Adolescents. *J Bone Joint Surg Am*. 2021;103:1543-1551. doi: 10.2106/JBJS.20.01856.
- [4] Welborn MC, Coghlan R, Sienko S, Horton W. Correlation of collagen X biomarker (CXM) with peak height velocity and radiographic measures of growth in idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2021;9:645-653. doi: 10.1007/s43390-020-00262-7.
- [5] Sanders JO, Khoury JG, Kishan S, Browne RH, Mooney JF 3rd, Arnold KD, McConnell SJ, Bauman JA, Finegold DN. Predicting scoliosis progression from skeletal maturity: a simplified classification during adolescence. *J Bone Joint Surg Am*. 2008;90:540-53. doi: 10.2106/JBJS.G.00004.
- [6] Bitan FD, Veliskakis KP, Campbell BC. Differences in the Risser grading systems in the United States and France. *Clin Orthop Relat Res*. 2005;436:190-5. doi: 10.1097/01.blo.0000160819.10767.88.
- [7] Minkara A, Bainton N, Tanaka M, Kung J, DeAllie C, Khaleel A, Matsumoto H, Vitale M, Roye B. High Risk of Mismatch Between Sanders and Risser Staging in Adolescent Idiopathic Scoliosis: Are We Guiding Treatment Using the Wrong Classification? *J Pediatr Orthop*. 2020;40:60-64. doi: 10.1097/BPO.0000000000001135.
- [8] Jackson TJ, Miller D, Nelson S, Cahill PJ, Flynn JM. Two for One: A Change in Hand Positioning During Low-Dose Spinal Stereoradiography Allows for Concurrent, Reliable Sanders Skeletal Maturity Staging. *Spine Deform*. 2018;6:391-396. doi: 10.1016/j.jspsd.2018.01.003.
- [9] Shaw KA, Welborn MC, Matsumoto H, Parent S, Sachwani N, El-Hawary R, Skaggs D, Newton PO, Blakemore L, Vitale M, Samdani A, Murphy JS, Pediatric Spine Study Group. To tether or fuse? Significant equipoise remains in treatment recommendations for idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2022;10:763-773. doi: 10.1007/s43390-022-00497-6.
- [10] Marks MC, Petcharaporn M, Bastrom TP, Miyaji F, Cahill PJ, Flynn JM, Lonner BS, Harms Study Group, Newton PO. Radiographic Motion Before and After Anterior Vertebral Body Tethering compared to Posterior Spinal Fusion for Thoracic Scoliosis. *SRS 2023, 58th Annual Meeting, Seattle: Paper #79.*
- [11] Dorilio J, Utah N, Dowe C, Avrumova F, Alicea D, Breceovich A, Callanan T, Sama A, Lebl DR, Abjornson C, Cammisa FP. Comparing the Efficacy of Radiation Free Machine-Vision Image-Guided Surgery With Traditional 2-Dimensional Fluoroscopy: A Randomized, Single-Center Study. *HSS J*. 2021;17:274-280. doi: 10.1177/15563316211029837.
- [12] Chang CH, Chi CH, Lee ZL. Progressive coxa vara by eccentric growth tethering in immature pigs. *J Pediatr Orthop B*. 2006;15:302-6. doi: 10.1097/01202412-200607000-00014.
- [13] Portinaro N, Turati M, Cometto M, Bigoni M, Davids JR, Panou A. Guided Growth of the Proximal Femur for the Management of Hip Dysplasia in Children With Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop*. 2019;39:e622-e628. doi: 10.1097/BPO.0000000000001069.
- [14] Zakrzewski AM, Carl JR, McCarthy JJ. Proximal Femoral Screw Hemiepi-physiodesis in Children With Cerebral Palsy Improves the Radiographic Measures of Hip Subluxation. *J Pediatr Orthop*. 2022;42:e583-e589. doi: 10.1097/BPO.0000000000002152.
- [15] Hench LL, Paschall HA. Direct chemical bond of bioactive glass-ceramic materials to bone and muscle. *J Biomed Mater Res*. 1973;7(3):25-42. doi: 10.1002/jbm.820070304. PMID: 4123968.
- [16] Lindfors N, Kukkonen E, Stenroos A, Nordback PH, Anttila T, Aspinen S. Enchondromas of the Hand: Curettage With Autogenous Bone vs. Bioactive Glass S53P4 for Void Augmentation. *In Vivo*. 2022;36:1267-1273. doi: 10.21873/in vivo.12826.
- [17] Syvänen J, Nietosvaara Y, Kohonen I, Koskimies E, Haara M, Korhonen J, Pajulo O, Helenius I. Treatment of Aneurysmal Bone Cysts with Bioactive Glass in Children. *Scand J Surg*. 2018;107:76-81. doi: 10.1177/1457496917731185.
- [18] Lindfors NC, Koski I, Heikkilä JT, Mattila K, Aho AJ. A prospective randomized 14-year follow-up study of bioactive glass and autogenous bone as bone graft substitutes in benign bone tumors. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2010;94:157-64. doi: 10.1002/jbm.b.31636.
- [19] Syvänen J, Serlo W, Jalkanen J, Kohonen I, Raitio A, Nietosvaara Y, Helenius I. Allograft Versus Bioactive Glass (BG-S53P4) in Pediatric Benign Bone Lesions: A Randomized Clinical Trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2023;105:659-666. doi: 10.2106/JBJS.22.00716.

Rédacteur en chef :
Philippe Merloz

Directeur de publication :
Moussa Hamadouche

Correspondance :
SOFCOT
56 rue Boissonade
75014 Paris - France
Tél. : 01 43 22 47 54
e-mail : sofcot@sofcot.fr
www.sofcot.fr

Maquette : Comback
Mise en page : Accent Aigu



SIX MOIS DE STAGE À NEW YORK

**DEPARTMENT OF ORTHOPEDIC SURGERY,
LENOX HILL HOSPITAL, NEW YORK, NY, USA**

Janvier 2024 / Juin 2024

Par **Marc KHALIFÉ**, Paris, Boursier SOFCOT, session 2022
Service de chirurgie orthopédique, Hôpital Européen Georges Pompidou, AP-HP

New York est une ville fascinante. Au-delà de la démesure de ses gratte-ciels et de son énergie semblant inépuisable, sa place dans le domaine de la chirurgie du rachis est devenue incontournable. De grands noms de la chirurgie du rachis y exercent (Schwab, Lenke,...), notamment dans le champ de la déformation et de l'alignement sagittal, qui sont ceux que j'affectionne particulièrement et sur lesquels j'ai focalisé mes travaux de recherche. New York était donc la destination idéale pour compléter ma mobilité dans le cadre de mon parcours universitaire.

Je tiens à remercier chaleureusement la Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SOFCOT) pour la confiance qu'elle m'a accordée en me permettant d'obtenir la bourse de recherche. Cette bourse a été un précieux soutien pour me permettre de réaliser un semestre de recherche clinique à New York. Ce fellowship constitue un post-doctorat après avoir soutenu ma thèse de science en décembre 2023 à l'Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak

(École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris).

Ce semestre a été très enrichissant pour moi, à plusieurs niveaux. En effet, j'ai eu l'occasion d'améliorer mes connaissances en statistiques, en méthodologie de la recherche et en rédaction d'articles scientifiques. Ces six mois ont également été l'occasion de vivre une expérience enrichissante sur le plan personnel et professionnel, me permettant de redécouvrir un système de santé, une culture, une organisation des soins et de la recherche différente, de rencontrer et d'échanger avec des chirurgiens américains et d'approfondir ma connaissance de l'anglais médical. Cette ouverture d'esprit et cet enrichissement personnel me paraissent importants pour le développement professionnel.

● LE LABORATOIRE

Le Lenox Hill Hospital est situé à quelques pas de Central Park à Manhattan. C'est un hôpital universitaire de 652 lits de chirurgie et de médecine. Il fait partie du groupe hospitalier Northwell Health, détenant plus de 23 hôpitaux dans l'état de New York.

Dans le service de chirurgie orthopédique, dirigé par le Dr Schwab, des interventions sur le membre inférieur, le membre supérieur et le rachis sont réalisées par des équipes dédiées.

Une fois par an, le Lenox Hill organise une journée recherche où les internes et les chercheurs de toutes les spécialités de l'orthopédie présentent un de leurs projets de l'année. Des prix sont remis pour les meilleures communications et la journée se termine par un moment de convivialité (Fig. 1).

Le laboratoire de recherche clinique est situé au sein du service de chirurgie orthopédique. Il est dirigé par le Dr Virginie Lafage, diplômée des Arts et Métiers à Paris, qui est épaulée par deux ingénieurs. L'équipe est également renforcée par d'autres chercheurs ou cliniciens d'horizons différents venant mener à bien des projets de recherche pour une durée déterminée. La collaboration et l'entraide entre les cliniciens, chercheurs-ingénieurs et statisticiens permettent d'avancer sur les différents projets de façon optimisée et avec bienveillance.

Tous les matins, une réunion d'une dizaine de minutes permet de définir les objectifs de chacun pour la journée et d'exposer les problèmes rencontrés ou attendus. Toutes les deux semaines, se tient également une réunion qui a pour objectif de faire le point sur l'état d'avancement des différents projets et de définir le calendrier des prochaines étapes.

Le laboratoire coordonne la recherche de l'*International Spine Study Group (ISSG)*, et dispose ainsi de plusieurs bases de données multicentriques portant sur des patients présentant des déformations du rachis en pré- et post-opératoire avec un recul d'au moins deux ans. L'ISSG regroupe une vingtaine de centres experts en déformation rachidienne en Amérique du Nord, qui alimentent les bases de données de façon prospective.

● LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

Ce séjour au Lenox Hill Hospital m'a permis de poursuivre les projets de recherche à partir de la base de données constituée lors de ma thèse de science, encadré par l'équipe du laboratoire. Cette base de données est constituée de près de 900 sujets asymptomatiques ayant bénéficié d'une stéréoradiographie en position *free-standing* avec reconstructions tridimensionnelles.

Plusieurs nouvelles études ont ainsi été réalisées sur cette cohorte. Une première portait sur l'étude de l'alignement rachidien chez les sujets porteurs d'anomalie transitionnelle à type de sacralisation de L5. Nous avons mis en évidence que chez ces sujets, il fallait prendre en compte le grade de l'anomalie. Pour les bas grades, l'alignement se rapproche des sujets sans anomalie et il faut mesurer les paramètres pelviens sur S1, tandis que pour les hauts grades, l'alignement lombaire est globalement translaté d'une vertèbre vers le haut, et il faut mesurer les paramètres pelviens sur L5.

Une autre étude a comparé la contribution respective du disque et du corps vertébral à la lordose lombaire. Cette étude a mis en évidence que les corps vertébraux constituaient 4 % de la lordose chez les sujets à petite incidence pelvienne, contre 20 % chez les sujets ayant la plus forte incidence. Une étude similaire a été menée par la suite sur le rachis thoracique.

Enfin, nous avons utilisé les valeurs normatives de cette cohorte d'asymptomatiques afin d'établir des abaques d'angles jonctionnels proximaux (« PJA ») pour chaque vertèbre dans le rachis thoracique. Nous avons ensuite comparé le taux de valeurs anormales d'angles jonctionnels proximaux par rapport au taux de PJK (*proximal junctional kyphosis*) dans une population de patients présentant une déformation rachidienne de l'adulte. Cette étude a mis en évidence qu'il faut adapter la définition du PJK en fonction du niveau de la dernière vertèbre instrumentée.

Outre les études sur la base de données normative, mon semestre au laboratoire a été l'occasion de participer à plusieurs projets basés sur les données de l'ISSG. Nous avons ainsi étudié la compensation d'un trouble de l'alignement sagittal par les membres inférieurs. Cette étude a noté que la rétroversion pelvienne résultait principalement d'une extension de hanche pour les petites déformations tandis que la proportion de flexion de genou devenait prépondérante pour les déformations les plus importantes. De façon attendue, nous avons mis en évidence que les patients qui présentaient une arthrose de hanche utilisaient plus volontiers la flexion de genou. En continuité sur le thème de la compensation des membres inférieurs, nous avons réalisé une étude en clusters pour identifier différents types de compensation des membres inférieurs. Ainsi, nous avons mis en évidence que certains patients utilisent préférentiellement la flexion de genou, d'autres l'extension de hanche, et certains les deux en association. Des différences significatives entre les différents groupes ont été notées en termes de sexe, IMC, incidence pelvienne, arthrose de hanche ou de genou, et sévérité du trouble de l'alignement.

Nous avons également étudié le type de reprise chirurgicale à effectuer en cas de faillite mécanique proximale. Cette étude a révélé qu'il ne fallait pas trop corriger la cyphose proximale, et privilégier les extensions longues du montage, se terminant dans le secteur thoracique supérieur. J'ai également participé à une enquête auprès

d'une vingtaine de chirurgiens experts en déformation rachidienne. Cette étude avait pour objectif d'évaluer la capacité de ces chirurgiens à prédire la survenue d'une faillite mécanique proximale après une correction-fusion de déformation rachidienne après avoir analysé les données démographiques, les scores cliniques, les radiographies, pré- et post-opératoires. Cette étude a révélé que, outre une grande hétérogénéité des résultats, les chirurgiens étaient peu capables de prédire la survenue d'une faillite proximale, notamment au vu de la radiographie post-opératoire. Ces résultats questionnent sur notre perception de l'alignement sagittal et de son impact sur la survenue de complications mécaniques.

CONCLUSION

Ce semestre à New York a été très enrichissant pour moi sur le plan professionnel autant que personnel. Ce stage m'a permis de participer à de nombreux projets de recherche, et d'approfondir mes connaissances sur la statistique et la méthodologie. J'ai par ailleurs pu perfectionner mon anglais et j'ai eu l'opportunité de pouvoir échanger avec des chirurgiens américains et de les visiter au bloc opératoire.

Je souhaite remercier une nouvelle fois la SOFCOT pour sa précieuse aide. J'espère que cet échange avec New York sera amené à se poursuivre à l'avenir afin de pouvoir permettre au plus grand nombre de pouvoir profiter de cette incroyable opportunité.

Marc KHALIFÉ



Figure 1 - Photo de l'équipe du laboratoire à l'issue de la journée recherche du Lenox Hill.



FELLOWSHIP DE QUATRE MOIS À STUTTGART

**CENTRE FOR SPORTS ORTHOPEDICS AND SPECIAL JOINT SURGERY
ORTHOPÄDISCHE KLINIK MARKGRÖNINGEN, ALLEMAGNE**

Mars 2024 / Juin 2024

Par **Grégoire MICICOI**, Nice, Boursier SOFCOT, session 2024

Le Centre for Sports Orthopedics and Special Joint Surgery a été ciblé pour ma première période de mobilité universitaire afin de parfaire mon expérience en chirurgie conservatrice du genou. Les objectifs étaient d'élargir mes compétences techniques dans les domaines des révisions ligamentaires, des ostéotomies autour du genou, du traitement de l'instabilité fémoro-patellaire ainsi que des greffes méniscales et cartilagineuses.

Le service est intégré au sein du RKH Markgroeningen, hôpital public situé dans le Bade-Wurtemberg proche de Stuttgart exclusivement dédié aux pathologies du système ostéoarticulaire.

Ce centre et la période de mobilité (du premier mars au 30 juin 2024) ont été ciblés en Europe pour me permettre de participer à un ensemble d'activités opératoires et de publications tout en poursuivant mon implication auprès du Collège des Jeunes Orthopédistes et de la Société Française de Chirurgie de la Hanche et du Genou.

La semaine classique était organisée en quatre journées opératoires et une journée

de consultation auprès du Professeur Philipp Schuster.

● ÉQUIPE CHIRURGICALE

Le service de chirurgie du sport est distinct de celui de remplacement prothétique ; il inclut un chirurgien du pied, deux chirurgiens du coude, trois chirurgiens de l'épaule ainsi que cinq chirurgiens entièrement dédiés à la chirurgie conservatrice du genou.

Le Professeur Philipp Schuster, auprès duquel j'ai réalisé la plus grande partie de ma mobilité, est président du Comité Ostéotomie de la *Deutsche Kniegesellschaft*, son activité est marquée par une grande appétence pour les ostéotomies autour du genou.

Le Docteur Philipp Mayer, également membre du Comité Ostéotomie de la *Deutsche Kniegesellschaft* précise son activité dans les ostéotomies du genou.

Le Docteur Micha Immendörfer, son activité se démarque par les reconstructions du ligament croisé postérieur et les greffes méniscales.

Le Docteur Michael Schlumberger, son expérience est palpable en traumatologie et pour les fractures complexes du genou.

Le Docteur Jörg Richter, Chef de service du Centre for Sports Orthopedics and Special Joint Surgery, son activité se concentre sur les ligamentoplasties de première intention et les révisions ligamentaires.

L'ensemble des chirurgiens du genou réalisent conjointement toutes ces activités avec près de 2 500 croisés et plus de 300 révisions ligamentaires opérés chaque année.

L'hôpital est rattaché pour la partie universitaire à la *Paracelsus Private Medical University* de Salzburg leur permettant d'assurer l'enseignement auprès des internes et des assistants spécialisés.

● ACTIVITÉS OPÉRATOIRES ET DE CONSULTATION

J'ai pu assister au cours de cette mobilité académique à près de 290 interventions chirurgicales. La journée de consultation était concentrée le mercredi, les patients étaient adressés par de nombreux médecins de la région et réalisaient parfois plus de trois heures de trajet pour accéder à ce centre de référence.

Un grand nombre de patients sportifs professionnels (handball, football, basketball et hockey sur glace essentiellement) étaient pris en charge au sein de cette structure ; les ligamentoplasties de première intention étaient fréquemment réalisées selon une reconstruction par DIDT.

J'ai pu assister dès mon premier mois aux interventions des derniers traumatisés de ski avec des lésions multi-ligamentaires fréquemment retrouvées.

Les révisions ligamentaires constituaient une activité forte du centre avec près de 50 interventions suivies personnellement au cours de ces quatre mois. Elles étaient réalisées en un ou deux temps opératoires en cas d'overlapping des points d'entrée des tunnels, ou de diamètres importants en préopératoire (> 13 mm). Le comblement des tunnels était réalisé par une greffe avec une tête de banque fémorale et la reprise souvent assurée par une reconstruction au DIDT controlatéral. Une reconstruction par tendon quadricipital était également réalisée dans les cas de révision en une session opératoire.

L'accès aux allogreffes reste difficile en Allemagne mais possible pour certains patients ayant épuisé leur stock donneur.

Les défauts techniques fréquemment observés à l'origine des révisions étaient la présence d'un tunnel trop antérieur ou d'une greffe trop fine chez des patients sportifs.

Une reconstruction antéro-latérale selon la technique de Lemaire modifiée, en passant la bandelette ilio-tibiale sous le LLE, était réalisée de manière non systématique pour des indications sélectionnées et en cas de révision du LCA.

Les indications de corrections de pente tibiale étaient également fréquentes en cas de deuxième ou troisième échec de ligamentoplastie ou plus rarement lors de la première révision lorsqu'aucun défaut technique n'était identifié pour des patients avec une pente tibiale postérieure excessive.

La technique systématiquement réalisée était une ostéotomie infra-tubérositaire de fermeture antérieure avec ostéosynthèse par plaque anatomique qui présente l'avantage de ne pas détacher la tubérosité tibiale antérieure et de ne pas léser le ligament patellaire avec un très faible risque de pseudarthrose contrairement à ce que mes dogmes du passé pouvaient laisser supposer.

Les ostéotomies du genou étaient soigneusement planifiées en préopératoire pour obtenir une cible de correction aux alentours de 55 % en postopératoire en cas de genu varum et proche de 50 % en cas de genu valgum ou en cas d'atteinte dégénérative débutante du compartiment controlatéral.

Aucun guide de coupe spécifique ou ancillaire particulier n'était utilisé au cours des ostéotomies avec une très grande précision atteinte sur les cibles postopératoires. Le matériel utilisé était systématique-

ment une plaque verrouillée Activmotion (Newclip) ou Tomofix (Synthes).

Une double-ostéotomie était réalisée en cas de déformation mixte au tibia et au fémur, tant pour les morphotypes en varus que ceux en valgus. Un varus fémoral avec LDFA > 90 ° indiquait fréquemment une ostéotomie fémorale associée.

Le but était de limiter la création d'un interligne oblique excessif et de permettre la mise en place secondaire d'une arthroplastie unicompartmentale sur le long terme, sans trop modifier l'anatomie osseuse et ligamentaire du patient.

J'ai également pu assister aux chirurgies de greffes méniscales, qui constituent une activité non négligeable du centre. La liste d'attente des patients est longue et les difficultés pour les opérer proviennent du coût et de la disponibilité des greffons méniscaux. Ces derniers étaient réalisées sans plot osseux.

Les greffes cartilagineuses étaient également réalisées dans les indications d'ostéochondrite disséquante ou de défauts cartilagineux post-traumatiques par technique d'autogreffe de chondrocytes (*Autologous Cartilage Transplantation*) nécessitant un premier temps de prélèvement sous arthroscopie de carottes cartilagineuses avec mise en culture des chondrocytes dans un laboratoire proche du centre et implantation secondaire de la culture cellulaire obtenue.

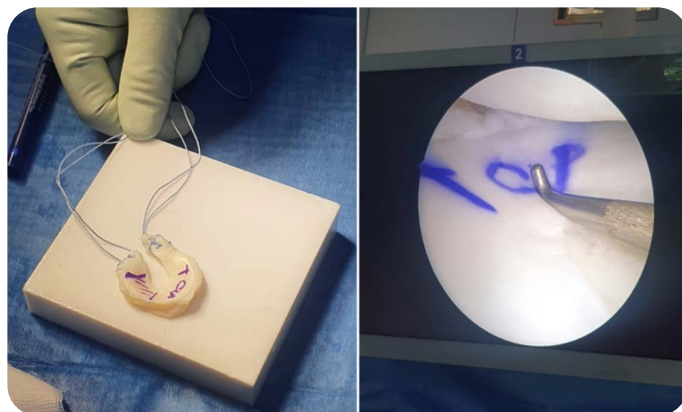
Enfin, le centre bénéficiait d'une activité de prise en charge des instabilités fémoro-patellaires, de nombreuses reconstructions au MPFL étaient réalisées chaque semaine et j'ai pu découvrir mes premières trochléoplasties réalisées selon la technique de Bereiter : il s'agit d'une chirurgie extrêmement efficace pour l'instabilité fémoro-patellaire.



● Ostéotomie infra-tubérositaire de fermeture antérieure permettant de réduire la pente tibiale postérieure chez un patient ayant eu deux échecs de ligamentoplastie au LCA.



● Planification des ostéotomies sur mediCAD - Sur la base de statigrammes calibrés, la hauteur d'ouverture planifiée est reportée en peropératoire.



● Transplantation de ménisque latéral chez un patient de 25 ans aux antécédents de méniscectomie iatrogène - Greffe méniscale fraîche cryopréservée.

● ACTIVITÉ DE PUBLICATION

La première étude menée concernait l'évaluation de la prévalence de l'artère tibiale antérieure aberrante, qui court entre la face postérieure du tibia et le muscle poplite, la rendant particulièrement à risque au cours des ostéotomies tibiales.

J'ai évalué sur la base de 2 000 IRM ses caractéristiques anatomiques et l'influence du morphotype du patient sur sa présence. L'impression initiale du Pr Schuster était que celle-ci était plus fréquemment retrouvée en cas de genu valgum, pour l'avoir lésée au cours d'une ostéotomie tibiale de varisation et remarqué lors de son activité de consultation sur des valgus constitutionnels.

Cette hypothèse n'a pas été vérifiée et sa prévalence retrouvée dans près de 2 % des cas. Sa situation anatomique, rend son atteinte inévitable et peut suffire à contre-indiquer une ostéotomie tibiale en cas de diamètre important avec des risques d'ischémie ou de syndrome des loges.

J'ai ensuite accédé à la base de données des ostéotomies de corrections de pente tibiale infra-tubérositaires de fermeture antérieure avec 99 cas opérés au cours des 3 dernières années. Ma contribution a été portée à la relecture des radiographies en association à un autre centre de Bamberg en Bavière qui incluait près de 50 cas.

L'objectif était de montrer qu'une consolidation osseuse était obtenue pour la quasi-totalité des cas à moins de trois mois de la chirurgie en cas d'ostéotomie infra-tubérositaire.

J'ai profité de cette série pour évaluer l'influence des ostéotomies infra-tubérositaires sur la hauteur patellaire. Si les ostéotomies supra-tubérositaires, en zone métaphysaire, présentent un avantage théorique sur la consolidation osseuse, celles-ci sont réalisées au-dessus de la tubérosité et peuvent donc modifier la hauteur patellaire.

L'ensemble de ces études a d'ores et déjà été soumises dans des revues indexées sur PubMed.

Il a été difficile de réaliser d'avantage d'études observationnelles car malgré la grande activité opératoire, le suivi à long terme n'est pas systématique et il m'était impossible de contacter les patients pour les revoir en raison du court délai de la mobilité et de la barrière de la langue.

● RETOUR D'EXPÉRIENCE

Cette mobilité universitaire a été l'occasion de parfaire mes connaissances en chirurgie conservatrice du genou notamment sur les aspects techniques des ostéotomies et des révisions ligamentaires.

J'ai pu également découvrir de nouvelles activités chirurgicales en greffe méniscale, greffe cartilagineuse et instabilités fémoro-patellaires.

Outre les aspects chirurgicaux, l'organisation du service et du bloc opératoire était très intéressante en raison de son efficacité ; les journées étaient relativement courtes avec des programmes opératoires de six à huit patients terminant vers 15 h laissant du temps libre aux activités scientifiques et extra-professionnelles.

La situation géographique du *Centre for Sports Orthopaedics and Special Joint Surgery* en périphérie de Stuttgart a été très agréable ; les saisons sont palpables au rythme vivaldien.

J'ai également assisté aux différentes réunions et formations dispensées à l'occasion de fellowships organisé par le Professeur Schuster pour des chirurgiens allemands confirmés qui visitaient sur des périodes d'une semaine.

Enfin, cette mobilité a été l'occasion de tisser des liens d'amitiés avec des confrères européens et d'échanger autour de quelques matchs de l'euro 2024 et de schnitzels.

Remerciements

Je remercie chaleureusement le Professeur Philipp Schuster pour son accueil sans réserve et ses conseils avisés dans les cas complexes d'ostéotomies du genou ainsi que le Docteur Jörg Richter pour son accueil chaleureux au sein de son service.

Je remercie les Docteurs Philipp Mayer, Micha Immendorf, Michael Schlumberger et Janina Leiprecht qui ont joué un rôle essentiel au bloc opératoire par leurs enseignements.

Je remercie l'ensemble des soignants et équipes du *Centre for Sports Orthopaedics and Special Joint Surgery*.

Je remercie mes mentors, les Professeurs Nicolas Bronsard et Jean-François Gonzalez pour leur soutien indéfectible.

Je remercie l'ensemble des membres du Conseil d'administration de la SOFCOT pour m'avoir permis de concrétiser cette première période de mobilité universitaire.

Grégoire MICICOLI



● L'équipe de chirurgiens du genou du Centre for Sports Orthopaedics and Special Joint Surgery.



UNE ANNÉE RECHERCHE AU LABORATOIRE TRAITEMENT DU SIGNAL ET DE L'IMAGE

MASTER 2 EN SCIENCES CHIRURGICALES ET NOUVELLES TECHNOLOGIES INTERVENTIONNELLES

Validité de l'apprentissage en réalité virtuelle d'un geste arthroscopique complexe et séquentiel : suture du supra-épineux

LABORATOIRE TRAITEMENT DU SIGNAL ET DE L'IMAGE (LTSI), ÉQUIPE MEDICIS, RENNES

Novembre 2021 / Novembre 2022

Par **Nicolas VALLÉE**, Rennes, Boursier SOFCOT, Session 2021

Service de chirurgie orthopédique, CHU de Rennes, Hôpital Pontchaillou, Rennes

Dès mon arrivée en tant qu'interne de chirurgie orthopédique au CHU de Rennes, notre chef de service, le Pr Hervé Thomazeau, discutait de recherche. Nous avons d'abord un rendez-vous de groupe avec ma promotion puis chaque semestre un rendez-vous individuel afin de discuter du service mais surtout de l'avenir, de carrière et de recherche. Initialement, je n'apportais pas un grand intérêt pour la recherche, à vrai dire, je n'y connaissais rien et, pour preuve, je n'avais pas fini mon Master 1 initié pendant l'externat. Lors d'un entretien semestriel, mon patron m'a parlé du projet qu'avait débuté un de mes aînés pour sa thèse de science sur la pédagogie et la place de la simulation dans l'apprentissage de la chirurgie. Depuis la réforme du troisième cycle, l'intérêt pour les nouvelles technologies et des simulateurs associés à l'intelligence artificielle est grandissant. Le projet m'a tout de suite plu car il me touchait personnellement. Plus jeune, j'ai passé des heures sur des simulateurs de pilotage d'avions avant même de monter dans un avion de tourisme et de piloter vraiment. La première fois que j'ai utilisé un arthroscopie, il s'agissait d'un simulateur. La graine était donc plantée, j'ai décidé de finir mon Master 1 à l'université de Rennes pour continuer ce projet.

Une fois mon Master 1 en poche, j'ai d'abord rencontré l'équipe du laboratoire du LTSI (Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image) dirigé par M. Pierre Jannin afin d'expliquer le projet sur lequel je voulais travailler pendant un an. Grâce à cette équipe et à mon collègue « thésard », le projet a pris forme en quelques semaines. Il ne manquait plus qu'à trouver un financement car pour ce travail, je n'avais pas d'autre choix que de stopper mon internat pendant un an. J'ai eu la chance d'obtenir la bourse de la SOFCOT qui m'a alors permis de valider l'étude et de débiter mon année de Master en novembre 2021.

● LE LABORATOIRE

Cette année recherche a été réalisée dans le laboratoire LTSI (Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image), équipe MediCis sous la direction de Pierre Jannin. Elle était encadrée par Arnaud Huault (PhD), Hervé Thomazeau (MD) et Alexandre Tronchot (MD) actuellement en thèse de science.

Le LTSI est un laboratoire avec plusieurs axes de recherche mais dont l'étude de la pédagogie fait partie des principaux. Des gynécologues-obstétriciens y étudient l'apprentissage sur le robot Da Vinci, en collaboration avec des ingénieurs et docteurs en sciences, non issus des bancs de la

faculté de médecine. Ils imaginent et développent des outils pédagogiques d'apprentissage au bloc opératoire et réfléchissent aussi à l'apport de l'intelligence artificielle pour créer le bloc opératoire 2.0.

Chaque mardi, nous avons une réunion tous ensemble afin de discuter des avancées et des difficultés de chacun. Cela ressemblait fortement aux différents « staffs » que je connaissais dans mon service de chirurgie orthopédique mais, comme au début de l'internat, on se heurte initialement à une nouvelle phraséologie que l'on va, au fil des semaines, commencer à s'approprier.

Je partageais mon bureau avec deux autres personnes, Tiphaine Casy et Soline Galurey. C'était mon équipe réduite. L'analyse des données de posture récupérées via les caméras lors des entraînements et de l'évaluation est le travail de thèse de Tiphaine Casy, doctorante en bio-informatique. L'analyse des données de « l'eyes tracking » est le travail de Soline Galurey, étudiante en Master de bio-informatique.

● DÉROULEMENT DE L'ANNÉE

CUFFSIM, c'est le nom donné à cette étude dont le titre est : Validité de l'apprentissage en réalité virtuelle d'un geste arthroscopique complexe et séquentiel : suture du

supra-épineux. Lorsqu'on parle d'outils pédagogiques, en particulier des simulateurs, il y a plusieurs niveaux de preuve. Le graal, c'est la validité de transfert, c'est-à-dire un outil qui permet l'apprentissage d'un geste, d'une séquence ou d'une procédure complète avec la même reproductibilité sur l'humain. L'offre des simulateurs est grandissante, mais la validité de transfert n'est que très peu étudiée. En d'autres mots, est-ce que les simulateurs nous apprennent réellement à opérer ?

Le travail d'Alexandre Tronchot sur l'arthroscopie de genou a démontré cette validité de transfert pour des gestes de base. Cependant, les simulateurs sont de plus en plus performants et proposent des procédures beaucoup plus complexes comme la suture de coiffe. C'est sur cet aspect que nous avons travaillé, sur l'apprentissage de gestes complexes et séquentiels.

Les deux premiers mois m'ont permis de finaliser le projet et de me familiariser avec mon nouvel environnement de travail. Il faut apprendre de nouvelles choses, codage, paramétrage des capteurs, gestion des bugs les plus fréquents du simulateur. Il y avait trois sites de formation, sur lesquels je devais apporter tous les capteurs (capteur cardiaque, caméras et lunettes de eyes tracking, EMG).

La gestion des données a été une des difficultés que j'ai rencontrées, je n'ima-

ginais pas une telle quantité de données et de calcul. Heureusement, Tiphaine, Soline et Arnaud (NDLR : voir plus haut) étaient toujours disponibles même lors de mes déplacements pour m'aider en cas de problème.

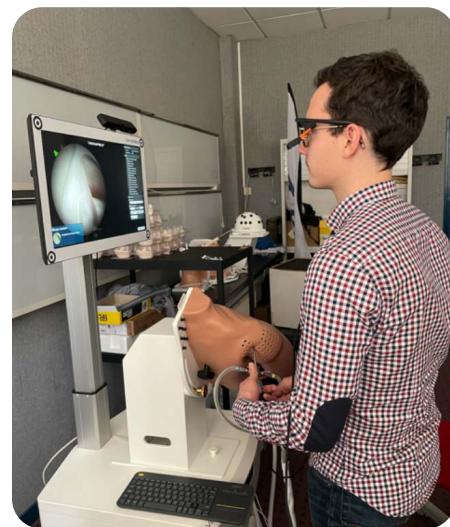
Il s'agissait d'une étude multicentrique avec plus de 30 internes sur le réseau HUGO (Groupement hospitalier du grand ouest englobant les villes de Rennes, Brest, Nantes, Angers, Tours et Poitiers). Une des difficultés était donc de réussir à voir et entraîner les candidats tous les mois, chose parfois difficile lorsque l'on connaît le volume horaire des internes. Personnellement, je ne participais qu'à la permanence de soin (gardes) et n'avais plus d'activité dans le service, il m'était donc plus facile de m'adapter à l'emploi du temps des candidats. J'ai eu la chance de rencontrer à plusieurs reprises des internes venant d'autres villes.

L'étude a été réalisée sur le simulateur VR Virtamed, ArthroS. Virtamed a été un acteur important de cette étude car ils ont mis à disposition leurs simulateurs, la gestion des données et des entraînements à titre gracieux. J'ai eu la chance d'aller à Zurich, dans leur siège social, où j'ai pu découvrir leur section recherche, mais aussi discuter avec les ingénieurs des différentes évolutions déjà en cours de développement et des futurs axes de recherche. C'est lors de cette visite que j'ai pu me rendre

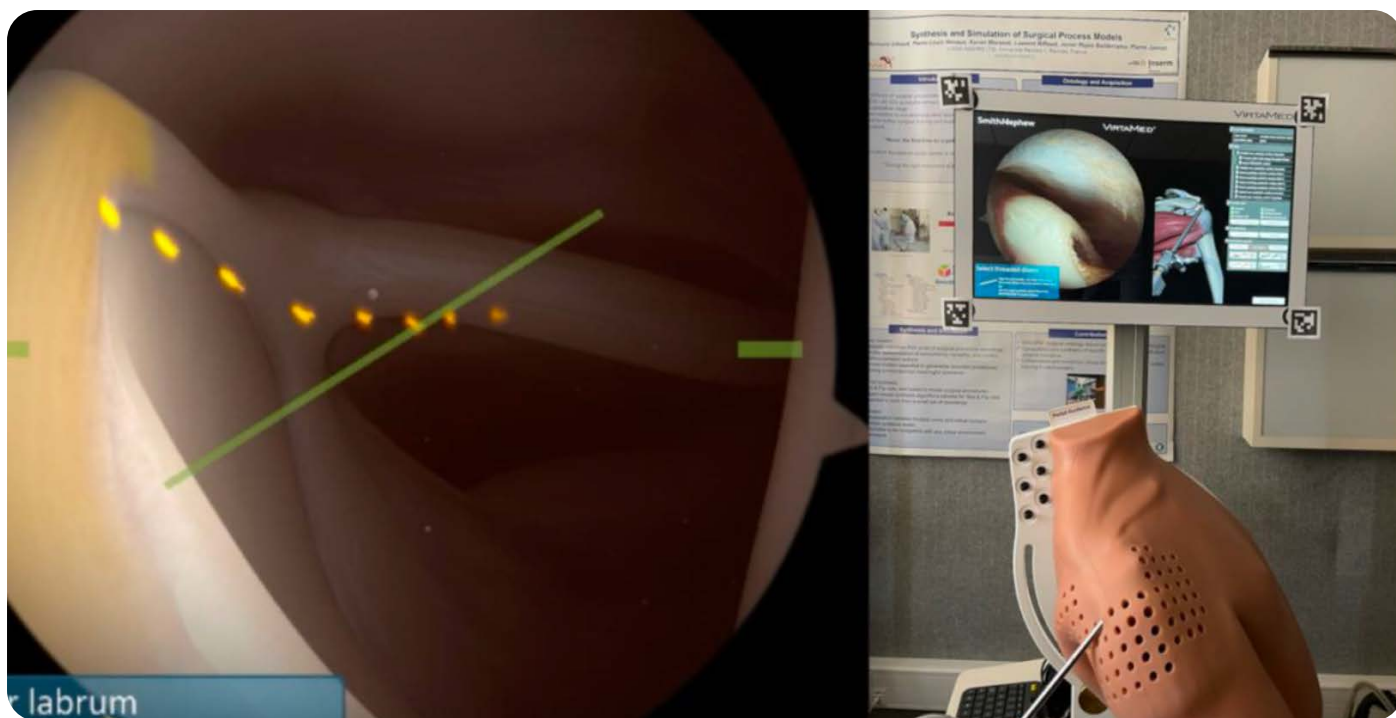
compte de la difficulté technique que chaque innovation, même minime, exige.

Pour l'évaluation, nous avons dû faire appel à deux experts en chirurgie de l'épaule, le Dr Oudet et le Pr Favard, quelle chance ! Deux chirurgiens attachés à la formation et avec une expérience immense. Après plusieurs entretiens et déjeuners, nous avons réussi à créer un score d'évaluation finale.

L'ambiance de recherche est plus légère mais pas moins sérieuse que celle rencontrée dans un service de soin. J'ai donc



● Session d'entraînement : Simulateur Virtamed, lunettes « Eyes tracker », caméra



● Simulateur ArthroS, Virtamed sur lequel nous avons réalisé l'étude

aussi pu profiter de cette collaboration pour aborder des sujets tels que la carrière mais aussi d'autres passions, comme l'aide humanitaire avec le Pr Favard. Cela a eu son importance, 4 mois après je partais en mission humanitaire avec le Pr Violas...

Cette étude étant réalisée dans le cadre d'un Master 2, j'étais inscrit au Master de sciences chirurgicales et nouvelles technologies de Paris Saclay dirigé par le Pr Penna. Ce master est fortement axé sur la recherche, autrement dit, la validation dépend majoritairement du mémoire et du travail réalisés dans notre laboratoire. Les cours étaient en visioconférence avec pour moitié des cours de statistiques et de publication. L'autre moitié portait sur des interventions de chercheurs sur des études en cours. Cette dernière partie était très enrichissante car elle nous montrait la difficulté mais aussi la passion qu'avaient les médecins chercheurs dans la réalisation de leur projet.

Je ne peux que conseiller ce Master, les encadrants sont disponibles tout au long de l'année et les travaux présentés de très haut niveau.

Une fois l'étude réalisée, le mémoire écrit et ma soutenance validée, j'ai eu la chance de pouvoir présenter ce projet à deux congrès d'orthopédie : celui de la SOFCOT et celui de l'ISAKOS (*International Society of Arthroscopy, Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine*) à Boston. La bourse m'a permis d'aller outre-Atlantique présenter mon Master et de découvrir pour la première fois un congrès américain !

J'ai aussi pu le présenter lors d'une journée sur la pédagogie à Nantes, ce qui m'a permis de réaliser que ce domaine était encore plus vaste.

CONCLUSION

Cette année de recherche m'a permis de découvrir des milieux que je ne connaissais que très peu : la pédagogie, que je n'imaginai pas être un domaine si vaste et technique, et la recherche dans un laboratoire. L'adaptation n'est pas instantanée, il faut faire avec l'attente, l'échec, le retour en arrière, choses moins fréquentes lors de notre pratique chirurgicale.

Sur le plan professionnel, j'ai pu rencontrer des futurs collègues, des experts en chirurgie, des industriels et des chercheurs. La recherche n'est pas possible sans le travail commun de tous ses acteurs. Cela m'a permis de connaître la fierté que l'on a lorsque l'on présente nos travaux dans des congrès nationaux et internationaux.

Sur le plan personnel, cette année a été très enrichissante. Grâce à la bourse de la SOFCOT, j'ai pu me consacrer à ce Master. Le rythme en laboratoire est plus modulable que lors de notre activité médicale ; j'ai pu participer à une mission humanitaire, m'entraîner pour un marathon et profiter de ma famille et de mes amis. Cette année m'a appris à gérer l'équilibre entre nos carrières professionnelles passionnantes mais chronophages et nos vies privées. Cet équilibre, je l'applique encore aujourd'hui.

Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement Alexandre Tronchot qui m'a encadré lors

de chaque étape de ce travail et accompagné à Boston et à Zurich.

Je remercie également le Pr Thomazeau pour m'avoir poussé et soutenu lors de ce Master. Merci également au Pr Favard et au Dr Oudet pour le travail et le temps que vous m'avez accordé.

Je remercie Tiphaine, Soline, Arnaud et Pierre Janin ainsi que toute l'équipe du LTSI pour votre accueil et votre aide.

Pour finir, je tiens à remercier la SOFCOT d'avoir financé ce travail. Sans ce financement, rien n'aurait été possible.

Nicolas VALLÉE



● Photo finale après l'évaluation, de gauche à droite : Dr Oudet (évaluateur), moi-même, Pr Favard (évaluateur) et Julien Maximen (co-interne, aide opératoire pendant l'évaluation).



● Présentation à l'ISAKOS avec Alexandre Tronchot (encadrant au LTSI).



UN AN DE RECHERCHE EN MASTER 2 À PARIS

MASTER 2 : Elastographie de la moelle épinière dans le cadre des dysraphismes et des cyphoses sévères

**INSTITUT DE BIOMÉCANIQUE HUMAINE GEORGES CHARPAK,
ECOLE NATIONALE DES ARTS ET MÉTIERS, PARIS
SERVICE DE CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE, HÔPITAL TROUSSEAU, PARIS**

Novembre 2023 / Novembre 2024

Par **Lou RICHARD**, Paris, Boursière SOFCOT, Session 2023

Interne en chirurgie pédiatrique, ayant choisi de me spécialiser en orthopédie, j'ai rapidement, pendant mon cursus, voulu consacrer un an pour réaliser un Master 2 pour enrichir ma formation pratique avec une expérience scientifique encadrée. J'ai donc pris une année de disponibilité à la fin de la phase d'approfondissement et avant les deux années de docteur Junior pour mener à bien un projet de recherche.

J'ai vocation à me spécialiser dans la chirurgie du rachis et ce projet de recherche qui m'a été proposé, à la jonction entre l'orthopédie et la neurochirurgie, m'a tout de suite motivé. Ce qui m'a également beaucoup plu dans ce projet est son aspect très concret et clinique, étant donné qu'il s'agissait d'une étude sur patient, dans l'optique d'améliorer nos pratiques au sein du bloc opératoire.

J'ai aimé cette année car j'avais du temps dédié pour la recherche, sans être complètement coupée de l'activité clinique.

J'ai eu la chance de pouvoir réaliser ce projet au sein d'une équipe chirurgicale moderne toujours enthousiaste pour faire évoluer les blocs et les pratiques chirurgicales.

Enfin, ce projet s'inscrivait totalement avec les autres projets scientifiques auxquels je participais en parallèle dans le cadre de ma thèse d'exercice, sur le neuromonitoring des chirurgies de scolioses sévères.

● PRÉSENTATION DU LIEU DE STAGE

L'année a débuté par un temps de formation à la technique d'élastographie à l'institut de biomécanique humaine Georges Charpak à l'Ecole nationale des Arts et Métiers avec l'aide précieuse du Dr Claudio Vergari. Pendant le reste de l'année, il a également pris le temps de répondre à mes questions, et à proposer des solutions aux difficultés rencontrées.

Avec le Dr de Saint Denis, j'ai pu bénéficier d'un temps de formation aux différentes pathologies rencontrées dans le cadre des dysraphismes, pour comprendre les enjeux de leur prise en charge et les difficultés rencontrées en pratique clinique. Afin de construire la réflexion et les objectifs autour de ce travail, j'ai eu la chance d'assister aux consultations pluridisciplinaires pour les patients atteints de dysraphismes avec des médecins de MPR (médecine physique et réadaptation), des urologues, des orthopédistes et des neurochirurgiens.

Par la suite, l'étude se déroulait exclusivement à l'hôpital Trousseau, encadrée par le Dr de Saint-Denis et le Pr Vialle (Figure 1). Je connaissais déjà l'équipe ayant effectué mon 6^e semestre d'internat dans le service d'orthopédie de Trousseau (Figures 2, 3, 4, 5). Il ne m'a donc pas été difficile de prendre mes marques. L'étude a très rapidement commencé avec les premières mesures faites en consultation et au bloc opératoire dès le mois de novembre.

Les modalités de ce travail de recherche, avec une temporalité adaptée à l'activité du Dr de Saint Denis (consultation, blocs), m'ont permis de profiter d'une certaine autonomie. De ce fait, j'ai pu mener d'autres travaux scientifiques dans le cadre de ma thèse sur le monitoring des scolioses sévères traitées en préopératoire, ainsi que des projets plus personnels.

● PROJET DE RECHERCHE

Elastographie de la moelle épinière dans le cadre des dysraphismes et des cyphoses sévères

Introduction

L'idée de cette étude résulte de l'évolution des blocs dans lesquels nous travaillons, qui sont de plus en plus équipés, connectés, avec des technologies conçues pour guider et assister de plus en plus nos gestes comme la navigation, la robotique, etc.

Une des bases de la chirurgie, et de la médecine de manière plus générale, est la palpation manuelle qui permet de manière plus ou moins consciente de discerner les tissus pathologiques, de repérer les zones anatomiques, et d'estimer la qualité d'un tissu.

Un nouvel outil est en plein essor, notamment en neurochirurgie où la palpation des tissus est peu recommandée, pour l'étude objective de la rigidité des tissus mous : l'élastographie.

Elle se présente comme une échographie classique avec les mêmes sondes. Plusieurs techniques existent mais les plus récentes utilisent les ondes de cisaillement (élastographie *shear waves*) ce qui produit un élastogramme en couleur, en temps réel et superposé à l'image en mode B. Plus la couleur est chaude, plus la zone est rigide.

Le principal frein à son utilisation est dû au fait que les ondes ultrasonores ne traversent pas l'os. En neurochirurgie, elle a principalement été étudiée pour le cerveau, mais encore peu pour la moelle épinière.



Figure 1 - Enregistrement d'un clip d'élastographie au bloc opératoire (ostéotomie de réduction dans le cas d'un « spinal segmental dysgenesis »). L'opérateur à droite (Dr Timothée de Saint-Denis) tient la sonde d'élastographie dans le site opératoire rempli d'eau chaude stérile, pendant que je fais les manipulations nécessaires sur la machine (à gauche) ; face à lui le Dr Elie Saghbiny échange sur les données observées ; en arrière le Pr Vialle veille au bon déroulement global.



Figure 2 - Le Dr de Saint-Denis enjoué de tester une nouvelle technique d'exoscope 3D afin d'améliorer le temps chirurgical intradural des patients porteurs de pathologies médullaires..

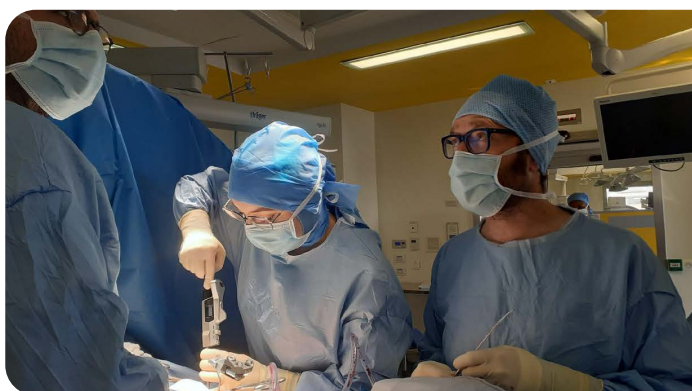


Figure 3 - Le Dr de Saint-Denis (à droite) et le Dr Saghbiny (à gauche) forment une interne du service aux visées pédiculaires, sous couvert de la navigation.

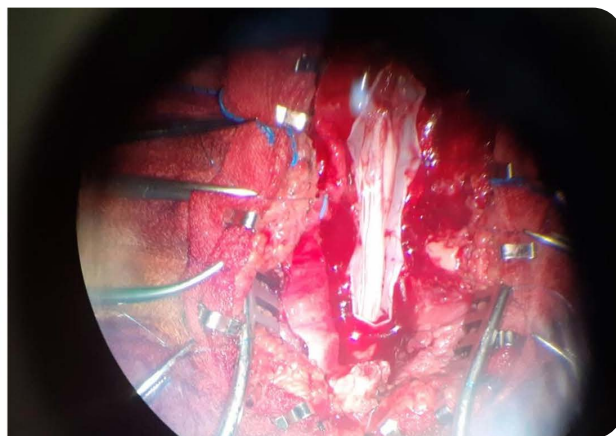
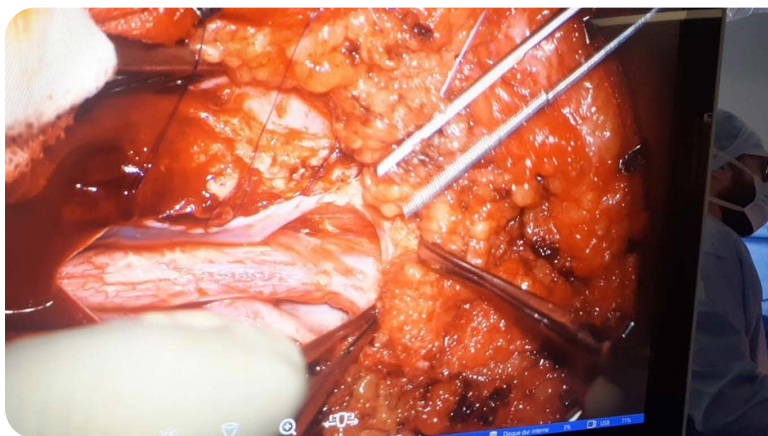


Figure 4 - Vues per opératoire sous microscope de la moelle épinière malformée (lipome du cône) après ouverture de la dure mère.



Figure 5 - Notre équipe au bloc, en cours d'intervention de réparation de la machine d'élastographie à la suite d'une panne. Nous avons démonté l'unité centrale afin de faire vérifier la carte graphique par le service informatique (la recherche requiert une pluripotence technique).

En chirurgie pédiatrique, deux grands types de pathologies nécessitent la réalisation d'une laminotomie ou d'une ostéotomie, permettant l'utilisation de l'élastographie. Il s'agit des dysraphismes et des cyphoses sévères.

Dans les dysraphismes, qui sont des anomalies de la ligne médiane qui touchent la moelle épinière, les vertèbres ou la peau, on pense en partie que la souffrance médullaire peut être secondaire à des sollicitations mécaniques, variables selon le type de malformation, menant à un tableau clinique appelé « syndrome de la moelle attachée ». Dans les cyphoses, on pense que c'est un mécanisme mixte de compression et de traction qui s'exerce sur la moelle.

En plus d'être techniquement réalisable, l'élastographie pourrait résoudre quelques problèmes rencontrés lors de la prise en charge de ces patients.

En pré-opératoire, l'indication chirurgicale est posée en cas de déficit ou si le risque de déficit est important mais il n'existe aucun outil fiable pour évaluer le risque neurologique. Il y a donc un risque d'opérer trop tard avec une irréversibilité des déficits. En cas de déficit post-opératoire, rien ne permet de différencier séquelle ou libération insuffisante.

En per-opératoire, le chirurgien ne dispose pas d'outil pour le guider et/ou confirmer son geste de libération.

Matériel et méthode

Nous avons réalisé des élastographies de la moelle épinière chez tous les patients opérés d'un dysraphisme ou d'une cyphose sévère nécessitant une ostéotomie entre novembre 2023 et juillet 2024 à l'hôpital Trousseau.

De manière similaire à ce que l'on faisait déjà auparavant avec l'échographie en mode B dans les chirurgies de dysraphismes

et les kyphectomies de décompression, le site opératoire était rempli d'eau stérile à température corporelle, puis la sonde, préalablement mise dans une housse stérile, était placée dans l'eau afin d'éviter tout contact avec la moelle tout en évitant les artefacts dus à l'air (Figure 1).

Avec la sonde d'échographie, les mesures étaient réalisées directement sur la machine avec 3 images sélectionnées sur des clips de 30 secondes de la moelle en coupe sagittale médiane. Les clips étaient réalisés à différents temps chirurgicaux : pour les dysraphismes, au moins un avant le geste de libération (avant ou après ouverture de la dure mère) et un après (avant ou après fermeture de la dure mère), et pour les cyphoses après laminectomie et avant ostéotomie/corporectomie complète et réduction de la déformation.

D'autre part, du fait de l'absence d'ossification de l'arc postérieur des vertèbres avant l'âge de 1 mois, nous avons également fait des élastographies de la moelle en consultation, éveillés, avant cet âge.

Résultats et conclusion

Les élastographies étaient facilement réalisables au bloc opératoire et fiables. Nous avons pu en réaliser chez 30 patients (7 cyphoses, 21 dysraphismes, 1 kyste arachnoïdien et une compression osseuse C1) (Figure 6).

Nous avons mis en évidence une diminution significative de la rigidité de la moelle épinière entre le début et la fin de l'intervention, à la fois pour les dysraphismes et les cyphoses d'environ 24 kilopascals (kPa), correspondant à une diminution de la rigidité de 58 % (Figure 7).

Les valeurs de rigidité entre le début de l'intervention sont très variables selon le type de pathologie, mais la valeur en fin d'intervention est très similaire et reproductible autour de 11 kPa (Figures 6 et 7).

Si on regarde les valeurs de rigidité de la moelle selon la présence ou non d'un déficit neurologique pré-opératoire, on observe que les patients qui présentent un déficit ont une moelle épinière plus rigide à la fois au début et en fin d'intervention que ceux qui ne présentent pas de déficit, mais sans que cela ne soit significatif.

Il existe peu d'autres études dans la littérature sur l'élastographie de la moelle épinière, mais leurs résultats sont similaires aux nôtres, notamment en termes de rigidité en fin d'intervention [1, 2, 3] (Tableau I).

Au bloc opératoire, l'élastographie pourrait permettre, en cas de cyphose, de vérifier la bonne réduction de la déformation et l'absence de compression par le mur postérieur. Dans les dysraphismes, l'élastographie pourrait permettre de vérifier l'absence d'attaches résiduelles et aider à identifier parmi les patients présentant des malformations associées, ceux qui pourraient

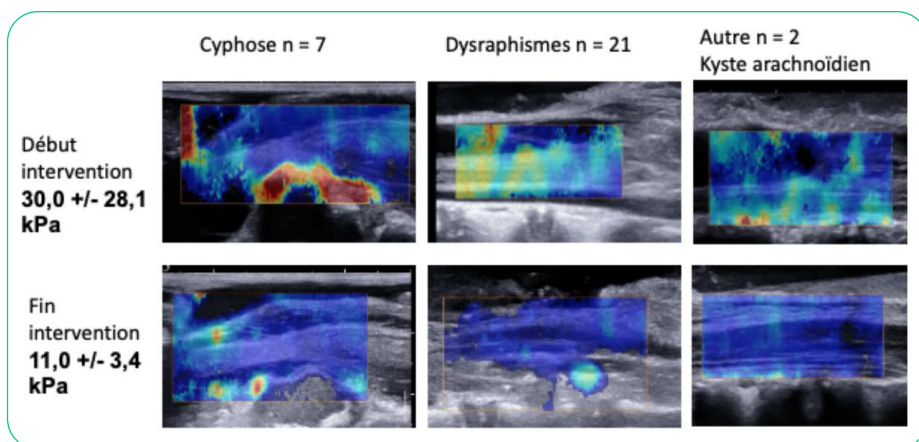


Figure 6 - Exemples d'images élastographiques de la moelle épinière par grand groupe de pathologie en début (1^{re} ligne) et en fin d'intervention (2^e ligne). La rigidité moyenne en début d'intervention tout patient inclus était de $30,0 \pm 28,1$ kPa et de $11,0 \pm 3,4$ kPa en fin d'intervention.

bénéficier d'une section supplémentaire du filum à la fin de l'intervention.

Pour plusieurs facteurs, nous n'avons pas pu réaliser d'élastographies en consultation, les mouvements importants des patients à cet âge ne permettent pas une stabilisation suffisante pour l'analyse de l'image élastographique et les cônes d'ombre des arcs postérieurs des vertèbres entraînent un signal de mauvaise qualité (Figure 8). Dans certaines malformations comme les lipomes du cône, le volume de tissu sous-cutané entraînait une atténuation du signal qui ne parvenait donc pas jusqu'à la moelle. Enfin, on avait finalement peu de patients

de moins de 1 mois en consultation car la plupart viennent vers l'âge de 3 mois avec une IRM médullaire.

Nous sommes les premiers à avoir étudié l'élastographie de la moelle épinière en pédiatrie et invalidé la faisabilité de son utilisation en consultation avant l'âge de 1 mois.

D'autres études sont nécessaires pour véritablement inclure l'élastographie dans notre pratique courante, comme l'utilisation de l'élastographie par résonnance magnétique pour le pré-opératoire, qui est une technique similaire à l'élastographie par ultrasons, mais qui est couplée à l'IRM et n'est pas limitée par la présence de l'os.

CONCLUSION

Durant cette année j'ai beaucoup apprécié de pouvoir prendre le temps de me pencher vers cet autre aspect de notre travail qu'est la recherche. C'est un domaine que l'on met souvent de côté par manque de temps pendant notre internat. Mettre l'activité clinique en pause pendant cette année de césure m'a permis de m'impliquer pleinement et de percevoir une réelle satisfaction, tant sur le plan de l'apprentissage que de la réalisation.

Peu importe le type de carrière vers lequel on songe se tourner, hospitalo-universitaire ou non. Un moment dédié à la recherche permet de se sensibiliser aux avancées et aux perspectives dans son domaine, à la temporalité scientifique et ainsi de rester curieux et motivé pour y participer tout au long de son parcours.

Remerciements

Je remercie le Pr Vialle, qui est à l'origine de ce projet de recherche et qui a veillé en chef d'équipe à ce que tout se déroule parfaitement, le Dr Timothée de Saint Denis qui m'a encadré toute cette année et a pris le temps de me former sur les dysraphismes

avec beaucoup de clémence et de passion, le Dr Vergari pour nous avoir transmis sa science de l'élastographie et Marius Buffard pour son aide. Je remercie également toute l'équipe du bloc à Trousseau pour sa flexibilité et sa tolérance concernant la présence de la machine d'élastographie et pour l'intérêt qu'elle portait à notre étude.

Pour finir, je voudrais évidemment remercier la SOFCOT pour son aide financière sans qui ce projet n'aurait pas pu se concrétiser.

Lou RICHARD

Articles écrits

- *Use of elastography in pediatric complex vertebro-medullary malformations*
En attente de soumission
- *Surgical management of 117 severe scoliosis with halo-gravity traction: corrections, complications, and neurological risks* - Soumis

Références

- [1] Al-Habib A, Alhothali W, Albakr A, Elwatidy S, Alawaji G, Alabdulsalam H, et al. *Effects of compressive lesions on intraoperative human spinal cord elasticity.*
J Neurosurg Spine 2021;35(6):807-16.
- [2] Almotairi FS, Basalamah AA, Amir A, Al-Habib AF. *Intraoperative demonstration of reduced distal spinal cord stiffness following untethering of the spinal cord using ultrasound shear wave elastography (SWE).*
World Neurosurg X. 2023 Jun 22;20:100225.
- [3] Kerensky MJ, Paul A, Routkevitch D, Hersh AM, Kempinski Leadingham KM, Davidar AD, Judy BF, Punnoose J, Williams A, Kumar A, Lehner K, Smith B, Son JK, Azadi JR, Shekhar H, Mercado-Shekhar KP, Thakor NV, Theodore N, Manbachi A. *Tethered spinal cord tension assessed via ultrasound elastography in computational and intraoperative human studies.*
G-Commun Med (Lond). 2024 Jan 5;4(1):4.

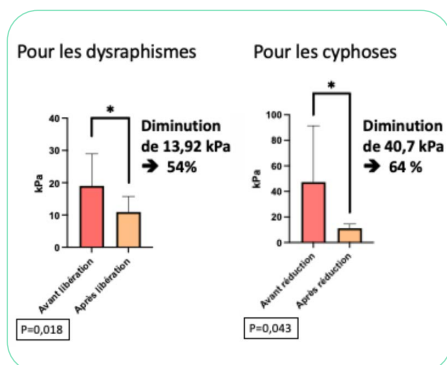


Figure 7 - Diagrammes en barres montrant la rigidité médullaire en début et fin d'intervention pour les dysraphismes (à gauche) et les cyphoses (à droite), et la diminution correspondante en kPa et en %. Les diminutions sont significatives dans les deux cas.

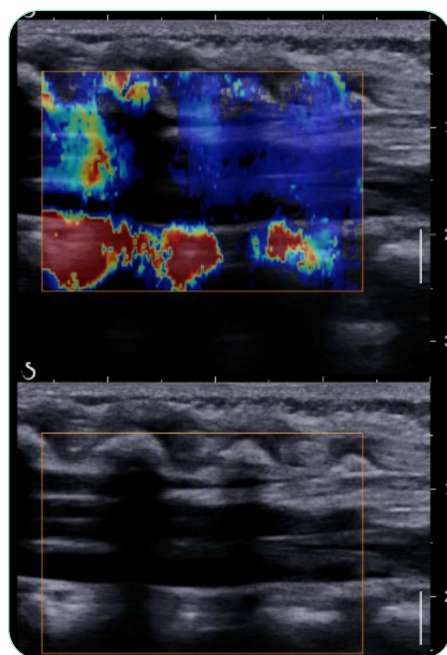


Figure 8 - Exemple d'image élastographique prise en consultation. A noter la présence des cônes d'ombre qui rendent difficile la formation d'un élastogramme de bonne qualité

	Effectif	Pathologie	Rigidité début intervention	Rigidité fin intervention	P-Value
Notre série	30	Dysraphismes Cyphose sévère	30,0 +/- 28,1 kPa	11,0 +/- 3,4 kPa	0,001
Al-Habib et al (2021)	25	Compressions (fractures, tumeurs, dégénératif)	93,84 kPa	11,1 kPa (pie mère) 9,4 kPa (cordons médullaires) 9,9 kPa (canal central)	0,006
Almotairi et al (2023)	1	Syndrome moelle attaché 45 ans	20-24 kPa	< 11 kPa	/
Lehner et al (2024)	6	Syndrome moelle attaché	Environ 2,3 m/s	Environ 1,5 m/s	< 0,001

Tableau 1 - Comparaison de nos résultats avec le reste de la littérature sur l'élastographie de la moelle épinière.