



Immobilisations par impression 3D : l'avenir du traitement orthopédique ?

WEB LETTRE – Mars 2025

Sami ELLOUZE pour le BOARD INNOVATION SFMU

L'impression 3D ces dernières années a connu un développement remarquable en médecine intéressant particulièrement le domaine de l'orthopédie (1) et de la médecine physique et réadaptation (MPR) (2). Cette technologie innovante appelée fabrication additive (FA) est définie par la norme NF ISO/ASTM 52900 comme un procédé « qui applique le principe de mise en forme additive et construit ainsi des géométries physiques en trois dimensions (3D) par ajout successif de matériau », à l'inverse des méthodes de fabrication soustractive usuelles. Initialement réservée à l'industrie, elle permettait de produire des pièces fonctionnelles personnalisées en petite série (prototypage rapide) notamment dans les domaines de l'ingénierie. La miniaturisation des machines d'impression 3D ainsi que la diminution de leur cout à démocratisé son utilisation depuis 10 ans. Son accessibilité à favorisé le développement de projet dans le domaine médical et particulièrement de modèles anatomiques « sur mesure » grâce à l'utilisation des reconstructions 3D extraites des images réalisées lors des examens tomodensitométriques et IRM des patients (3), permettant la préparation de chirurgies complexes ou de supports pédagogiques (1)(4).

En médecine d'urgence un axe de développement pourrait intéresser la traumatologie non vitale à la croisée des applications en MPR et en orthopédie : l'automatisation de la conception et de la production de dispositifs d'immobilisation ou d'orthèses par impression 3D pour le traitement orthopédique des fractures non déplacées des membres supérieurs ou inférieurs. En pratique la procédure pour obtenir l'objet final nécessite de réaliser les étapes suivantes (5) :

- Obtention d'un modèle 3D numérique anatomique : par numérisation du membre lésé à l'aide d'un scanner 3D/certains smartphones (Light Detection and Ranging, LiDAR)
- Création du modèle virtuel de l'orthèse personnalisée : basé sur les dimensions du modèle anatomique précédent à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO)
- Traitement du modèle virtuel de l'orthèse personnalisée avant impression 3D : préparation des paramètres d'impression et caractéristiques physiques (type de matériau, densité de la structure, épaisseur des couches, ...) par un logiciel « slicer »
- L'impression du modèle virtuel de l'orthèse à l'aide d'une imprimante 3D : matérialisation de l'objet couche après couche grâce à un choix multiple de matériaux composites : bois, plastiques, métaux, résine, ...

Cette technologie présenterait théoriquement des avantages par rapport aux méthodes traditionnelles (plâtre de Paris, résines synthétique, thermoplastique à basse température) :

- Assurance d'une orthèse sur mesure du membre lésé sans risquer la confection d'une immobilisation compressive à risque de complication (syndrome des loges)
- La personnalisation de la forme (en treillis) de l'orthèse permettant de découvrir une peau fragilisée ou à surveiller
- La personnalisation de la forme de l'orthèse permettrait l'utilisation du glaçage comme antalgie à la phase initiale de l'immobilisation
- Un choix de matériaux imperméabilisés adaptés au contact avec la peau permettant une meilleure hygiène et confort lors de la toilette et des baignades
- Diminution du poids de l'orthèse, grâce à l'optimisation de la densité du matériau
- Une amélioration du confort renforçant la compliance du patient
- La réduction du temps soignant dédié à la réalisation des orthèses
- Un impact écologique par le recyclage des matériaux utilisés pour réaliser les immobilisations et la diminution de la consommation des matières premières en usinage traditionnel
- Un cout de production optimisé par rapport à une production massive industrielle

En pratique des études étrangères de faible niveau de preuve (6)(7) ont évalué l'innocuité des orthèses ainsi que le confort et la satisfaction des patients ayant été immobilisés par des orthèses imprimées en 3D. Elles montrent une préférence des patients pour les orthèses imprimées en 3D en termes de confort avec une consolidation ainsi qu'une absence de complications similaire

aux immobilisations conventionnelles. Une étude chinoise monocentrique randomisée en 2020 incluant 60 patients présentant une indication de traitement orthopédique pour une fracture de l'extrémité inférieure du radius a été réalisée. Les patients ont été randomisés en trois groupes de 20 selon les méthodes d'immobilisation : le groupe A utilisant une orthèse imprimée en 3D après 1 semaine d'immobilisation par plâtre, le groupe B utilisant une immobilisation par plâtre et le groupe C utilisant une immobilisation par attelle. Les patients ont fait l'objet d'un suivi orthopédique et un questionnaire a été rempli au bout des 6 semaines d'immobilisation par les patients et les praticiens. L'évaluation de l'efficacité clinique (stabilité de l'immobilisation, contrôle vasculaire, douleurs, compressions) par le praticien ne montre pas de différence significative entre les groupes : scores de $10,20 \pm 0,951$ pour le groupe A, $9,10 \pm 1,119$ pour le groupe B et $9,35 \pm 1,137$ pour le groupe C, ($p > 0,05$). Les résultats issus de l'analyse des questionnaires de satisfaction (confort, conformation, odeurs, démangeaisons) patient ont montré une différence significative en faveur des orthèses imprimées en 3D, score total pour le groupe A était de $8,65 \pm 1,040$, $6,85 \pm 1,137$ pour le groupe B et $8,10 \pm 1,252$ pour le groupe C, ($p \leq 0,001$).

La principale limitation de l'utilisation de cette technologie aux urgences est liée à la durée d'impression qui, selon le matériel utilisé et la longueur de l'immobilisation peut prendre quelques heures (minimum 2-3h) sans compter les délais de livraisons si celle-ci est produite par une société de service d'impression 3D. Une étude israélienne en 2022 a montré la faisabilité du processus de conception et de fabrication des immobilisations au sein de l'hôpital pour des patients inclus depuis les urgences. Le temps de numérisation par scanner 3D du membre lésé a duré 30 secondes, la modélisation 3D de l'immobilisation a été faite de manière automatisée en quelques secondes et l'impression 3D avait une durée moyenne de 90 minutes avec un traitement post impression (traitement aux UV) de 30 à 40 minutes (8). Le temps de réalisation restait cependant conséquent et les patients avaient bénéficié d'un traitement conventionnel par plâtre la première semaine d'immobilisation avant de changer pour une immobilisation imprimée en 3D.

En France, les services d'urgence n'ont pas encore recours à ce type d'immobilisation à la phase initiale de la prise en charge pour des raisons techniques de durée d'impression, mais l'évolution technologique de l'impression 3D pourrait à court ou moyen terme remédier à cette limite. En Ile de France, des orthopédistes de la main de la clinique du Mont-Louis (établissement privé) font appel à des fabricants d'orthèses imprimées en 3D pour le traitement orthopédique de patients présentant des fractures du scaphoïde carpien. Le Dr Anne Leberre-Vos, urgentiste et

spécialisée en traumatologie en centre SOS main depuis 20 ans est la directrice d'une de ces entreprises appelée AKI 3D. L'entreprise créée en 2023 propose des orthèses imprimées en 3D (Fig.1) basée sur une procédure développée par la société Xkelet basée à Londres (Fig. 2). D'après le Dr Leberre-Vos, ces orthèses sont disponibles dans un délai de 2 à 3 jours et font l'objet d'une grande satisfaction auprès de ses patients ou de ceux adressés par les orthopédistes. Environ 300 orthèses sont fabriquées par an et des partenariats commencent à voir le jour avec des services d'urgences.

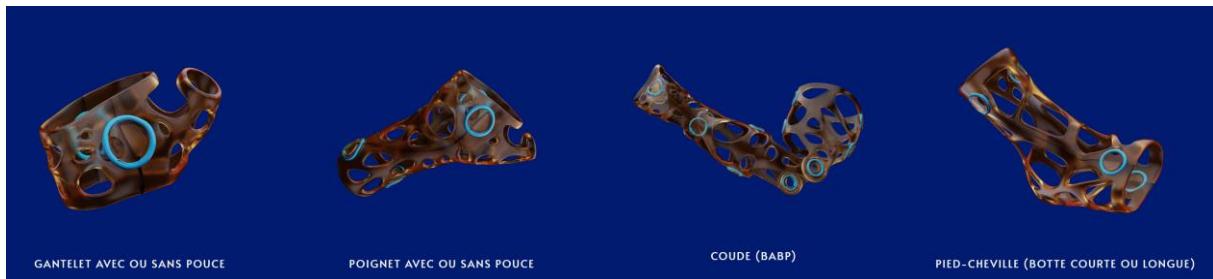


Fig 1. Orthèses Xcast ®, AKI3D



Fig 2. Xkelet, développement et fabrication d'équipements médicaux

Enfin en termes de prix les auteurs estiment un cout de réalisation des immobilisations imprimées en 3D à l'étranger supérieur à 3 fois le prix d'une orthèse conventionnelle (5)(7). En France, le dispositif peut être référencé dans la liste des produits et des prestations remboursables (LPPR) par la sécurité sociale. AKI3D propose des orthèses entre 120 et 180 euros, le reste a charge pour les patients en fonction de leurs mutuelles pourrait avoisiner les 30% d'après l'entreprise.

En conclusion, l'impression d'orthèses imprimées en 3D pour les fractures de membres avec indication de traitement orthopédique trouve une place en consultation de suivi traumatologique mais souffre encore de limitation technologique en termes de vitesse de fabrication pour une

utilisation in situ aux urgences. Des études de faible niveau de preuve s'accordent pour mettre en évidence une satisfaction des patients à utiliser ce type d'orthèses. Un rapprochement avec les services d'urgence peine à se développer, les principales limites sont les suivantes : une organisation compliquée dans le processus d'élaboration (numérisation, production délocalisée de l'orthèse, changement d'orthèses en cours d'immobilisation), la nécessité de formations à la numérisation des membres lésés à la phase initiale, un prix pouvant dissuader les patients précaires. Cette solution peut cependant être proposée aux patients éligibles aux urgences qui souhaitent pouvoir tirer profit des avantages de ces orthèses (confort, poursuite de certaines activités nautiques, activité sportives, hygiène ...) en collaboration avec les entreprises qui en produisent, en attendant le développement de machines d'impression 3D plus rapides qui permettrai d'équiper les patients à la phase aigüe du traumatisme.

L'auteur affirme ne pas avoir de conflits d'intérêt avec les entreprises ou les établissements citées dans cette web lettre.

Bibliographie

1. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online*. 2016 Oct 21;15(1):115. doi: 10.1186/s12938-016-0236-4. PMID: 27769304; PMCID: PMC5073919.
2. Lunsford C, Grindle G, Salatin B, Dicianno BE. Innovations With 3-Dimensional Printing in Physical Medicine and Rehabilitation: A Review of the Literature. *PM R*. 2016 Dec;8(12):1201-1212. doi: 10.1016/j.pmrj.2016.07.003. Epub 2016 Jul 15. PMID: 27424769.
3. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online*. 2016 Oct 21;15(1):115. doi: 10.1186/s12938-016-0236-4. PMID: 27769304; PMCID: PMC5073919.
4. R. Nicot, J. Ferri, G. Raoul. Intérêt de l'impression 3D en chirurgie maxillofaciale, *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, Volume 205, Issue 8, 2021, Pages 1008-1017, ISSN 0001-4079, doi.org/10.1016/j.banm.2021.05.024.
5. Li, J., Tanaka, H. Système de personnalisation rapide pour attelle imprimée en 3D utilisant une technique de modélisation programmable – une approche pratique. *3D Print Med* 4 , 5 (2018). <https://doi.org/10.1186/s41205-018-0027-6>
6. Chen YJ, Lin H, Zhang X, Huang W, Shi L, Wang D. Application of 3D-printed and patient-specific cast for the treatment of distal radius fractures: initial experience. *3D Print Med*. 2017;3(1):11. doi: 10.1186/s41205-017-0019-y. Epub 2017 Nov 9. PMID: 29782603; PMCID: PMC5954789.
7. Guida P, Casaburi A, Busiello T, Lamberti D, Sorrentino A, Iuppariello L, D'Albore M, Colella F, Clemente F. An alternative to plaster cast treatment in a pediatric trauma center using the CAD/CAM technology to manufacture customized three-dimensional-printed orthoses in a totally hospital context: a feasibility study. *J Pediatr Orthop B*. 2019 May;28(3):248-255. doi: 10.1097/BPB.0000000000000589. PMID: 30768580.

8. Factor S, Atlan F, Pritsch T, Rumack N, Golden E, Dadia S. In-hospital production of 3D-printed casts for non-displaced wrist and hand fractures. *SICOT J.* 2022;8:20. doi: 10.1051/sicotj/2022021. Epub 2022 May 24. PMID: 35608413; PMCID: PMC9128606.