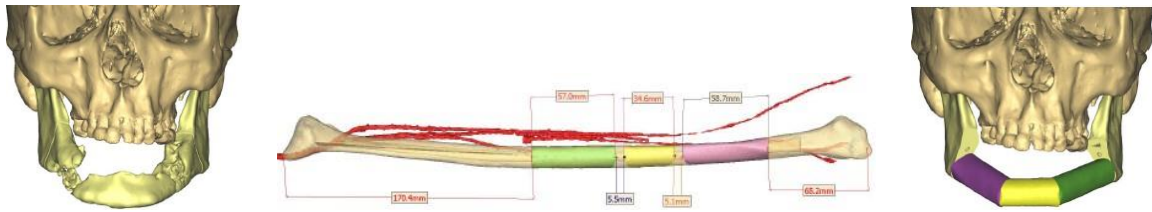


PhD: Shape analysis and interactive planning for mandibular reconstruction with fibula flap



Context

The most effective technique to repair a loss of mandibular substance, of traumatic or cancerous origin, is reconstruction with a fragment of the patient's fibula (fibula flap, Figure above). This reconstruction is quite delicate and is carried out in two stages:

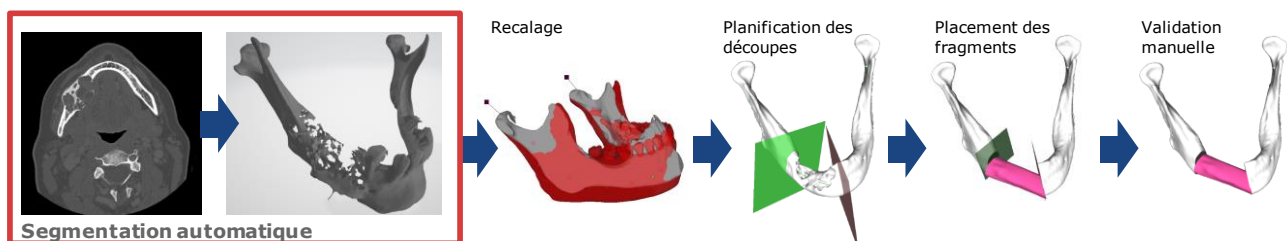
- preoperative phase: acquisition of the image of the patient's fibula and mandible; planning cuts from 3D models of the fibula and mandible;
- surgical operation: extraction of the fibula flap and cutting of the fragments; bone reconstruction of the mandible.

Currently, the planning of such an operation (calculation of cutting plans), specific to each patient, is subcontracted to specialized companies, which generates significant delays and costs for hospitals. The patient images are processed manually and used to create cutting guides: this helps the positioning of the fibula during the surgical procedure but does not allow precise guidance of the orientation of the osteotomies (i.e. guiding the positioning / orientation oscillating saw in space).

The ambition of this project is therefore to develop a complete pipeline overcoming the problems mentioned above. It includes **the creation of patient-specific 3D models**, the development of an **interactive planning software** and the **certification of a cutting guide robot** to assist with the surgical procedure. It is part of a collaboration between IMAG (shape analysis), LIRMM (robotics, computer graphics) and the University Hospital of Montpellier (surgery).

PhD topic

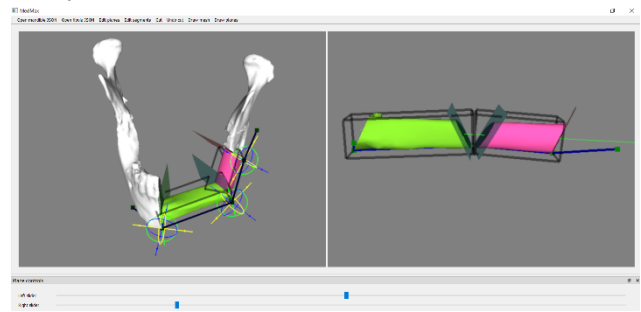
The subject of the thesis concerns the preoperative planning of reconstruction: (I) the **generation of 3D models** from patient specific images and (II) the **cutting plans computation** coupled with **interaction methods** intuitively allowing the physician to use their expertise to adjust the result. This work will result in a complete interactive planning software starting from the raw images of the patient to transmit the positions / orientations of the plans to the cutting guide robot:



In the first part of the thesis, we will define a **3D model of the fibula** and mandible of **each patient**, by creating a surface representation (triangular mesh) from the CT scan images acquired prior to the operation. To this, we must identify the regions of interest in the images via a segmentation step. The existing algorithms must be adapted to overcome specific difficulties: segmenting the fibula requires proper separation of nested bone structures (e.g. at the ankle) but also to locate the pedicle (blood vessel) used for the vascularization of the graft; for the mandible, the same type of difficulty exists, but they are increased by non-standard topologies due to the loss of mandibular substance. We therefore propose to **estimate an average mesh** from existing data from previous operations in order to be able to reasonably initialize the segmentation algorithms (around

a hundred images available). This requires defining original methods of registration between a mesh (average model) and an image (patient data).

In a second step, we will continue the work on the **cutting plans computation**, the proposed methods will allow the planning software to be developed from an existing software base coded during a previous Master internship which proved concept. The current method automatically calculates sectional planes of the fibula respecting anatomical constraints (minimum fragments size, position of the arteries in the mandible for the graft) and positions the fragments on the part of the mandible to be reconstructed. The proposed configurations can be modified and validated by the surgeon: the representation of the data must allow an intuitive and easy interaction for a user not an expert in 3D (change the orientation of the section planes; modify the position of the fragments to conform to the patient's physiognomy). Currently, the software only processes a 3D "toy" model and must therefore be **adapted to patient data**. In addition, the existing interactions are limited, they will be enriched and validated thanks to the expertise of the surgeon actively participating in the project. We therefore propose to calculate the interaction primitives from an average model and transfer them to the 3D model of the patient calculated during the first stage of the project. This implies proposing registration methods compatible with missing data: estimating the missing parts of the mandible and defining a good deformation space for the registration.



The student will update the planning software throughout the project to provide an interactive, aesthetic and easy-to-use solution. For this, the visualization (rendering of meshes, realistic bone texture, ambient occlusion, etc.) and the interaction methods (types of manipulators, mesh cutting, etc.) can be modified or improved.

Practical information

Supervisors: Jean-Michel Marin (jean-michel.marin@umontpellier.fr), IMAG
Benjamin Charlier (benjamin.charlier@umontpellier.fr), IMAG
Noura Faraj (noura.faraj@umontpellier.fr), LIRMM

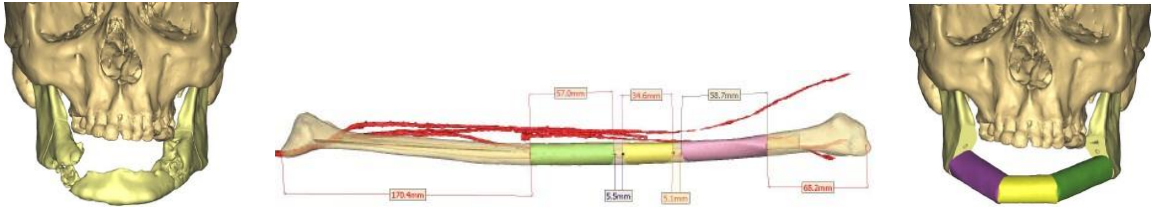
Collaborators: Marie De Boutray (CHU Montpellier), Nabil Zemiti (LIRMM - DEXTER).

Office: LIRMM or IMAG, Montpellier.

Duration: 3 years.

Requirements: Master's in computer science or mathematics, strong programming skills (C++), notions of computer graphics and geometry processing would be a plus and a taste for applied science for medicine.

Sujet de thèse : Analyse de forme et planification interactive pour la reconstruction mandibulaire par lambeau de fibula



Contexte

La technique la plus efficace pour réparer une perte de substance mandibulaire, d'origine traumatique ou cancéreuse, est la reconstruction avec un fragment de péronés du patient (on parle de lambeau de fibula, Figure ci-dessus). Cette reconstruction est assez délicate et s'effectue en deux étapes :

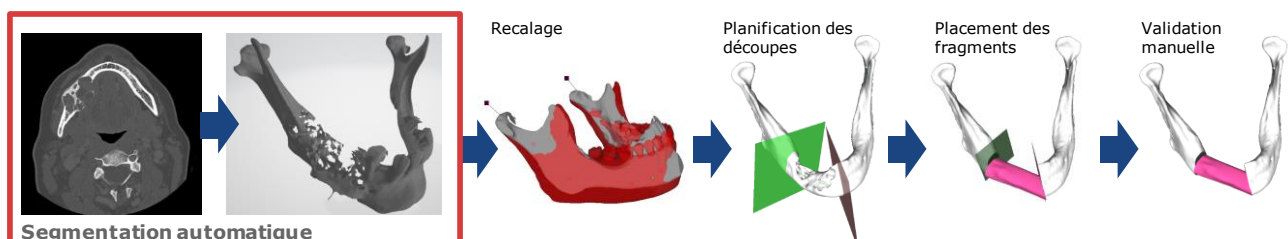
- phase pré-opératoire : acquisition de l'image du péroné et de la mandibule du patient ; planification des découpes à partir de modèles 3D du péroné et de la mandibule ;
- opération chirurgicale : extraction du lambeau de fibula et découpe des fragments ; reconstruction osseuse de la mandibule.

Actuellement, la planification d'une telle opération (calcul des plans de coupe), spécifique à chaque patient, est sous-traitée à des entreprises spécialisées ce qui engendre des délais et coûts importants pour les hôpitaux. Les images patients sont traitées manuellement et utilisées pour créer des guides de découpes : cela donne une aide au positionnement de la fibula lors de l'acte chirurgical mais ne permet pas de guider avec précision l'orientation des ostéotomies (i.e. guider le positionnement/orientation d'une scie oscillante dans l'espace).

Ce projet a donc pour ambition de développer un pipeline complet s'affranchissant des problèmes cités précédemment. Il comprend la **création de modèles 3D patient spécifique**, le développement d'un **logiciel interactif de planification** et la **certification d'un robot guide de découpe** pour l'assistance au geste chirurgical. Il s'inscrit dans une collaboration entre l'IMAG (analyse de forme), le LIRMM (robotique, informatique graphique) et le CHU de Montpellier (chirurgie).

Buts de la thèse

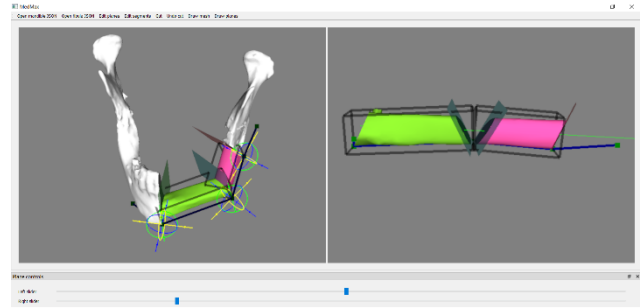
Le sujet de thèse porte sur la planification pré-opératoire de la reconstruction : (I) la **génération de modèles 3D** à partir des images patients et (II) le **calcul des plans de découpes** couplés avec des **méthodes d'interaction** permettant intuitivement au médecin d'utiliser son expertise pour ajuster le résultat. Les travaux permettront de proposer un **logiciel complet interactif de planification** partant des images brutes du patient pour transmettre les positions/orientations des plans au robot guide de découpe :



Dans une première partie de la thèse nous **définirons un modèle 3D** de la fibula et de la mandibule **de chaque patient**, en créant une représentation surfacique (maillage triangulaire) à partir des images CT scans acquises en amont de l'opération. Pour cela, il faut identifier les régions d'intérêt dans les images via une étape de segmentation. Les algorithmes existants doivent être adaptés pour surmonter des difficultés spécifiques : segmenter la fibula demande de bien séparer des structures osseuses imbriquées (e.g. au niveau de la cheville) mais aussi de repérer le pédicule (vaisseau sanguin) utilisé pour la vascularisation du greffon ; pour la

mandibule, le même type de difficulté existent, mais elles sont augmentées par des topologies non standards dues à la perte de substance mandibulaire. Nous proposons donc d'**estimer un maillage moyen** à partir des données existantes issues des précédentes opérations pour pouvoir initialiser de manière raisonnable les algorithmes de segmentation (une centaine d'images disponibles). Cela demande de définir des méthodes originales de recalage entre un maillage (modèle moyen) et une image (donnée patient).

Dans un second temps, nous continuerons les travaux sur le **calcul des plans de découpe**, les méthodes proposées permettront de **développer le logiciel de planification** à partir d'une base logicielle existante codée durant un précédent stage de Master qui a fait preuve de concept. La méthode actuelle calcule automatiquement des plans de coupe de la fibula respectant des contraintes anatomiques (taille minimale des fragments, position des artères dans la mandibule pour la prise de la greffe) et positionne les fragments sur la partie de la mandibule à reconstruire. Les configurations proposées peuvent être modifiées et validées par le chirurgien : la représentation des données doit permettre une interaction intuitive et aisée pour un utilisateur non expert de la 3D (changer l'orientation des plans de coupe ; modifier la position des fragments pour se conformer à la physiologie du patient).



Actuellement, le logiciel ne traite qu'un modèle 3D « jouet » et doit donc être **adapté aux données patients**. De plus les interactions existantes sont limitées, elles seront enrichies et validées grâce à l'expertise de la chirurgienne participant activement au projet. Nous proposons donc de calculer les primitives d'interaction depuis un modèle moyen et de les transférer vers le modèle 3D du patient calculé durant la première étape du projet. Ceci implique de proposer des méthodes recalages compatibles avec des données manquantes : estimer les parties manquantes de la mandibule et définir un bon espace de déformation pour le recalage.

L'étudiant(e) s'appropriera le logiciel de planification pour le mettre à jour tout au long du projet afin de proposer une solution interactive, esthétique et facile d'utilisation. Pour cela, la visualisation (rendu des maillages, texture réaliste d'os, occlusion ambiantes...) et les méthodes d'interactions (types de manipulateurs, découpe de maillage...) pourront être modifiées ou améliorées.

Détails pratiques

Encadrants : Jean-Michel Marin (jean-michel.marin@umontpellier.fr), IMAG
Benjamin Charlier (benjamin.charlier@umontpellier.fr), IMAG
Noura Faraj (noura.faraj@umontpellier.fr), LIRMM

Autres collaborateurs : Marie De Boutray (CHU Montpellier), Nabil Zemiti (LIRMM - DEXTER).

Laboratoire d'accueil : LIRMM ou IMAG à Montpellier.

Durée : 3 ans.

Prérequis : Master informatique ou mathématiques, solides connaissances en programmation (C++) et curiosité pour les problèmes appliqués à la médecine.

Bibliography

- [1] Corrado Toro, Robiony Massimo, Fabio Costa, Nicoletta Zerman, and Massimo Politi. Feasibility of preoperative planning using anatomical facsimile models for mandibular reconstruction. *Head face medicine*, 3 :5, 02 2007.
- [2] Al Haitham Al Shetawi and Daniel Buchbinder. *Mandibular Reconstruction*, pages 65–96. SpringerInternational Publishing, Cham, 2017.
- [3] Paul Besl and H.D. McKay. A method for registration of 3-d shapes. *ieee trans pattern anal mach intell. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 14 :239–256, 03 1992.
- [4] Miklós Bergou, Max Wardetzky, Stephen Robinson, Basile Audoly, and Eitan Grinspun. Discrete elasticrods. *ACM Transactions on Graphics*, 27, 09 2008
- [5] Xavier Pennec, Stefan Sommer and Tom Fletcher. *Riemannian Geometric Statistics in Medical Image Analysis*. Academic Press. 2020.