

Insertion d'aiguille: rendu haptique et échographique

Contexte :

En rhumatologie, la ponction est un geste médical classique en cas d'inflammation des articulations. Guidé par l'image et par le ressenti tactile, l'opérateur adapte son geste lors de l'insertion de l'aiguille pour atteindre l'articulation. Ce geste très technique nécessite une formation particulière de la part des jeunes médecins : il requiert la manipulation simultanée d'une sonde échographique et d'une seringue, et la lecture déportée d'une image ultrasonore.



Figure 1. Prototype de simulateur de ponction articulaire.

Dans ce contexte, le projet SPARTE (Simulator of Puncture for ARTiculations under Echography) vise la réalisation d'un simulateur d'apprentissage du geste de la ponction de grosses articulations sous échographie, dont l'objectif est de faciliter l'apprentissage de ce geste sans risque pour le patient. Disponible au LIRIS et financé par l'IDEFI SAMSEI, un premier prototype du simulateur (Figure 1) combine une simulation numérique à un dispositif haptique [1,2]. Ce prototype permet la manipulation simultanée de 2 dispositifs haptiques, l'un passif représentant la sonde échographique, et l'autre actif permettant la simulation de l'insertion de l'aiguille. Le retour haptique, ainsi qu'un rendu de la déformation de type échographique calculé en temps réel, permettent une immersion de l'apprenant dans la scène. Plusieurs scénarios basés sur des scènes plus ou moins complexes (du simple exercice générique à un modèle complet de l'épaule fourni par le LBMC) sont disponibles dans le simulateur, et ont permis de valider les premiers développements.

L'un des points clés de l'apprentissage réside dans la capacité de transfert du geste du simulateur vers la salle d'opération. À ce stade, divers éléments entrent en jeu, dont un des principaux concerne le réalisme, dont notamment dans notre cas, la qualité du modèle physique d'insertion de l'aiguille dans les différentes couches de tissus ; en combinaison d'un retour haptique et un rendu visuel qui contribuent à améliorer la sensation d'immersion de l'utilisateur.

Simulation numérique de l'insertion :

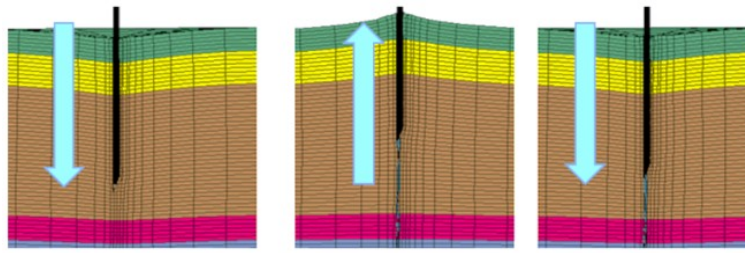


Figure 2. Simulation de l'insertion, du retrait puis de la ré-insertion d'une aiguille dans un modèle multicouche déformable.

Un modèle numérique multicouche (graisse, muscle, bourse) d'insertion d'une aiguille a été développé au LBMC, financé par l'IDEFI SAMSEI. La pénétration de l'aiguille (corps rigide) dans les tissus déformables (méthode des Éléments Finis - EF) est simulée grâce à des zones de cohésion définies par des éléments d'interface (Figure 2). Le temps de simulation EF (environ 10h sur un ordinateur personnel) étant incompatible avec un simulateur haptique basé sur le retour en force, un méta-modèle a été construit à l'aide d'une analyse de sensibilité. Ainsi, la force (Figure 3) ressentie dans l'aiguille a été décomposée en plusieurs composantes (liées à la raideur, à la friction et à la découpe) en simulant l'insertion, le retrait puis la ré-insertion de l'aiguille (Figure 2) pour plusieurs paramètres d'entrée : le diamètre et la forme de la pointe de l'aiguille, l'orientation et la vitesse d'insertion, et différents coefficients de friction.

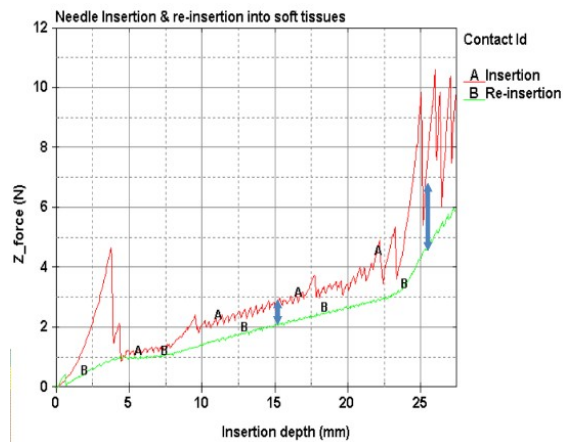


Figure 3. Courbe des efforts mesurés sur l'aiguille lors de son insertion dans le modèle multicouche.

Ce méta-modèle doit maintenant être intégré dans le modèle de simulateur haptique pour calculer l'effort à restituer à l'opérateur au fur et à mesure du geste. La prochaine étape pour améliorer ce simulateur médical haptique porte sur la représentation réaliste de la déformation des tissus mous autour de l'aiguille.

Objectifs et Démarche :

- Étude du modèle existant pour la simulation de l'insertion d'aiguille. Compréhension des différentes forces mises en jeu avant, pendant et après la fracture. Couplage avec la partie haptique (retour d'effort) du simulateur.
- Étude de sensibilité et construction du méta-modèle de déformation des tissus mous, prenant en compte les différentes couches de tissu traversées par l'aiguille. Le méta-modèle sera construit en lien avec le LBMC.

- Intégration de ce méta-modèle dans le simulateur. Le champ de déplacement 3D doit être interprété pour permettre son transfert sur l'image virtuelle échographique 2D. Pour cela, les techniques de manipulation des textures et de rendu interactif sur la carte graphique seront ici particulièrement étudiées.
- Amélioration de l'aspect visuel et haptique de l'aiguille. En effet, l'aiguille est plus ou moins visible selon son orientation par rapport à la sonde échographique, ou certains effets --comme l'ombrage sous l'aiguille, ou le *comet tail*-- permettraient d'apporter plus de réalisme. Là encore, l'utilisation de nouvelles textures dans le *pipeline* graphique sera étudiée. D'autre part, il serait également intéressant de proposer une aide haptique pour guider l'alignement de l'aiguille avec le plan de coupe échographique. Étude des indicateurs pertinents et mise en œuvre dans le simulateur.
- Étude de terrain, permettant d'observer les gestes réalisés par l'apprenti et d'étudier l'apport pédagogique du nouveau modèle complet d'insertion par rapport à la littérature. Cette étude, ainsi que la validation plus globale du simulateur, sera notamment réalisée en collaboration avec le partenaire médical du projet (service de rhumatologie, Hôpital Lyon Sud).

Compétences requises

Compétences dans un des domaines de l'informatique graphique ou de la simulation numérique, ou connexe aux thématiques du projet. Des connaissances en programmation C++/GPU, réalité virtuelle ou augmentée, dispositifs haptiques ou mécanique, seront appréciées.

Bibliographie

[1] [Charles Barnouin](#), [Florence Zara](#) & [Fabrlet](#) (2020). « A real-time ultrasound rendering with model-based tissue deformation for needle insertion ». 15th International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, GRAPP 2020r 2020, Valletta (Mlte). [hal-02415740](#).

[2] [Charles Barnouin](#), [Florence Zara](#) & [Fabrice Jaillet](#) (2018). « Real-time Ultrasound Rendering for Ultrasound-Guided Puncture Training ». Journées Françaises d'Informatique Graphique (JFIG 2018), 16 novembre 2018, Poitiers (France). [hal-01929043](#).