



DESCRIPTION DU PROJET

**Titre du projet**

SPARTE (Simulator of Puncture for ARTiculations under Echography)  
Insertion d'aiguille : rendu haptique et échographique

**Type de projet (réalisations logicielles ou matérielles, recherche)**

Plateforme de simulation médicale en réalité augmentée

**Laboratoires et thèmes FIL concernés**

- [LIRIS](#) (CNRS UMR 5205), [LBMC-IFSTTAR](#) (UMR\_T9406), [Ampère](#) (CNRS UMR 5005)
- Thèmes FIL : Images et informatique graphique. Mouvement, simulation et objets animés (modèles physiques, simulation biomécanique, animation) ;

**Porteurs principaux du projet**

Nom	Prénom	Laboratoire
JAILLET	Fabrice	LIRIS, équipe ORIGAMI

**Personnes impliquées (permanents, doctorants,...)**

Nom	Prénom	Laboratoire
ZARA	Florence	LIRIS, équipe ORIGAMI
LAFON	Yoann	LBMC-IFSTTAR
MOREAU	Richard	Ampère
Étudiant M2R		LBMC, financement LabEx PRIMES (acquis )
Étudiant M2R		LIRIS, financement FIL demandé

Durée du projet (1 an ou 2 ans) : 1 an

### Justification de la demande et budget (2 pages maximum)

#### Objectifs scientifiques, ...

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](#) vise la réalisation d'un simulateur dont l'objectif est de faciliter l'apprentissage de ce geste sans risque pour le patient. Développé par les laboratoires LIRIS et Ampère, un premier prototype (Figure 1) combine une simulation numérique à un dispositif haptique [1,2,3]. 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 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.

Un modèle numérique multicouche (graisse, muscle, bourse) d'insertion d'une aiguille a été développé au LBMC. Le temps de simulation Éléments Finis (environ 10h sur un ordinateur personnel) étant incompatible avec un simulateur haptique, un méta-modèle a été construit à l'aide d'une analyse de sensibilité. Ainsi, la force (Figure 2) 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 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.

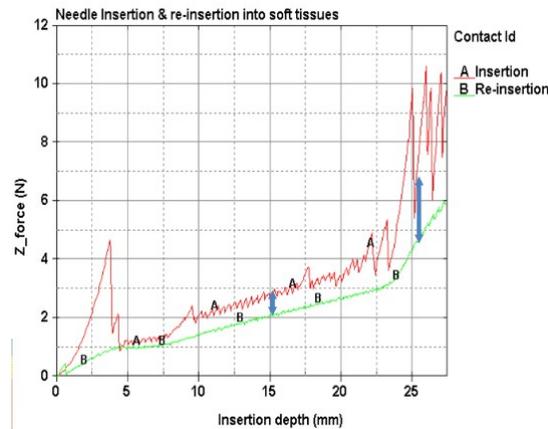


Figure 2. Courbe des efforts mesurés sur l'aiguille lors de son insertion dans le modèle multicouche.

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 aussi sur la représentation réaliste de la déformation des tissus mous autour de l'aiguille.

- [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 2020, Valletta (Mlte). [hal-02415740](https://hal.archives-ouvertes.fr/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), 2018, Poitiers (France). [Hal-01929043](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01929043).
- [3] Ma de los Angeles Alamilla Daniel, Richard Moreau, Redarce Tanneguy. Development of haptic simulator for practicing the intraarticular needle injection under echography \*. *EMBC*, Jul 2020, Montreal, Canada. pp.4713-4716, (10.1109/EMBC44109.2020.9175728). ([hal-02947141](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02947141))

### **Pour le budget, préciser : gratifications, missions, équipement... (rappel: 7000 euros maximum)**

- Bras haptique Geomagic Touch, 3500€ (devis NETRAM oct. 2020, marché Lyon1).
- Gratification stage M2R, 5-6 mois, 3500€ (591,51€ au 01/01/2020), avec les objectifs suivants :
  1. Étude du modèle existant pour la simulation de l'insertion d'aiguille. Compréhension des forces mises en jeu avant, pendant et après la fracture. Couplage avec la partie haptique.
  2. Étude de sensibilité et construction du méta-modèle de déformation des différentes couches de tissus traversées par l'aiguille. Intégration dans le simulateur. Le champ de déplacement 3D doit être interprété pour permettre son transfert sur l'image virtuelle échographique 2D. Les techniques de manipulation de textures et de rendu interactif sur GPU seront ici particulièrement étudiées.
  3. Amélioration de l'aspect visuel et haptique de l'aiguille, plus ou moins visible selon son orientation par rapport à la sonde, ou ajout de certains effets pour plus de réalisme. L'utilisation de nouvelles textures dans le *pipeline* graphique sera étudiée. Ajout d'une aide haptique pour guider l'alignement de l'aiguille avec le plan de coupe échographique.
  4. Étude de terrain, observation des gestes réalisés par l'apprenti et étude de 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 avec Ampère en collaboration avec le partenaire médical du projet (service de rhumatologie, Hôpital Lyon Sud).

**Total 7000€**

### Critères d'évaluation qualitative et quantitative (½ page maximum)

(rapports de recherches, publications, livrables, logiciels, démonstrateur,...)

Ces travaux ont été soutenus, entre autres, par le projet SAMSEI (Stratégies d'Apprentissage des Métiers de Santé en Environnement Immersif) du Grand Emprunt IDEFI (2013-20).

Deux thèses ont été soutenues dans ce cadre (avec les publications associées [1-3] présentées dans les Objectifs Scientifiques) :

- Charles Barnouin, *Outil pédagogique de la ponction des grosses articulations sous échographie*, université Lyon1, LIRIS, mai 2020
- Ma de Los Angeles Alamilla Daniel, *Development of a haptic simulator for practicing the intraarticular needle injection under echography*, INSA de Lyon, Ampère, mars 2020

Les développements logiciels se font dans une plateforme logicielle libre NExT, développée au LIRIS depuis 2013, en collaboration avec le laboratoire TIMC-IMAG de Grenoble. Il s'agit d'une plateforme de simulation numérique des objets déformables. Elle a été supportée par l'ANR SAGA (2012-16) sur le développement d'un simulateur médical pour l'apprentissage des gestes de l'accouchement, qui est l'un des plus avancés au monde. Cette plateforme a aussi bénéficié d'un soutien du Cluster Région Rhône-Alpes ISLE à travers une thèse (2011-14) ainsi que du CNRS par un support d'Ingénieur d'Étude de 12 mois en 2016.

À son terme, nous espérons 2 publications :

- une publication commune LIRIS/LBMC dans le domaine de la simulation mécanique, sur le pseudo-modèle de forces lors de l'insertion de l'aiguille, et son intégration dans le simulateur (Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering par exemple) ;
- une publication commune LIRIS/Ampère dans un domaine connexe à la mécatronique et la simulation numérique (IEEE Transactions on Biomedical Engineering, par exemple) ou appliqué aux sciences de l'éducation pour la partie validation du simulateur par une cohorte de médecins novices et experts (Medical Education).

### Impacts pour la FIL

Ce projet s'inscrit dans le sous-thème « Le mouvement, la simulation et les objets animés (modèles physiques, simulation biomécanique, animation) » du thème Images et informatique graphique.

Il est l'expression d'une collaboration de longue date entre plusieurs laboratoires et services hospitaliers de Lyon, et montre la vitalité de cette thématique sur le plan local. Et son financement permettrait de confirmer l'expertise des partenaires dans ce domaine. Il montre également l'intérêt de l'apport de l'Informatique dans le domaine médical, et va dans le sens des recommandations de la Haute Autorité de Santé : « Jamais la première fois sur le patient ! »

Ce projet est assez mûr, et a un fort potentiel de valorisation scientifique, comme précisé précédemment. Mais ce soutien permettrait également de faire effet levier, en vue de préparer la transition vers des projets de plus grande envergure, ANR ou FUI, sur le simulateur d'accouchement ou de ponction (qui utilisent les mêmes technologies). Un projet a d'ailleurs été proposé au dernier appel AMI numérique (outils de thérapie numérique) de Pulsalys, et même si il n'a pas été retenu en l'état, il devrait néanmoins bénéficier de son soutien en tant que « partenaire économique » pour répondre à l'appel 2021 du Pack Ambition Recherche de la Région AURA.