

Rapport d'activité

Erik Pernod

2^{ème} année - Mission Asclepios

1^{ère} année - Ingénieur Associé

Équipe ASCLEPIOS - Projet SOFA

Sophia Antipolis

Le 1^{er} septembre 2009

Tuteur : Hervé Delingette

Encadrant DREAM : Julien Wintz

Table des matières

1	Introduction : SOFA	2
1.1	Contexte	2
1.2	Architecture	3
2	Objectifs et Cahier des charges	4
2.1	Cahier des charges	4
2.2	Bilan à la fin de la 1 ^{re} année	6
3	Travaux effectués	7
3.1	Découverte de SOFA (<i>5 semaines : Du 01/10/08 au 10/11/08</i>)	7
3.2	Enrichissement de la Topologie (<i>16 semaines : Du 10/11/08 au 30/03/09</i>)	8
3.3	Amélioration de l'incision dans les triangulations (<i>12 semaines : Du 30/03/09 au 29/06/09</i>)	10
3.4	Préparation de SOFA pour le démonstrateur de simulateur d'ablation radiofré- quence (<i>12 semaines : Du 29/06/09 à actuellement</i>)	11
3.5	Confrontation avec le cahier des charges	12
4	Perspectives	14
5	Bilan	15
5.1	Environnement de travail	15
5.2	Bénéfices personnels	15
5.3	Conclusion	16

Introduction : SOFA

SOFA (Simulation Open Framework Architecture) est une librairie open-source dédiée essentiellement à la simulation en temps réel des modèles physiques déformables, particulièrement pour les applications médicales.

Le but de cette plateforme logicielle est de :

- Fournir une plateforme Open Source pour la communauté de simulation médicale.
- Favoriser la collaboration entre groupe de recherche et l'échange de modèles et d'algorithmes.
- Simplifier et optimiser le temps de développement de simulateurs médicaux en améliorant l'interopérabilité des algorithmes.
- Évaluer et valider de nouveaux algorithmes grâce à une architecture modulaire, flexible et extensible.
- Standardiser certains éléments d'une simulation (modèles anatomiques par exemple).

Site Internet de SOFA : www.sofa-framework.org

Lien sur la GForge INRIA : <https://gforge.inria.fr/projects/sofa-dev/>

Coordination des équipes via Trac : <https://wiki.sofa-framework.org/cgi-bin/trac-dev.fcgi>

1.1 Contexte

SOFA est une action d'envergure nationale créée en 2007. Il s'agit d'un projet collaboratif dans lequel sont impliquées trois équipes de recherche INRIA : ALCOVE à Lille, Asclepios à Sophia-Antipolis et enfin EVASION à Grenoble. Il compte des partenaires internationaux tels que : le CIMIT (USA), le CSIRO (Australie), d'autres en Chine, au Royaume-Uni et en Allemagne.

La plateforme a commencé à être développée il y a un peu plus de 3 ans et s'oriente vers une licence de type LGPL / GPL. Il existe d'autres logiciels open source dans le domaine de la simulation médicale, tels que :

- La librairie SPRING (<http://spring.stanford.edu/>) développée par le NASA BioComputing Center et Stanford University.
- L'environnement GIPSI (<http://gipsi.case.edu/>) développé par l'université de CaseWestern à Cleveland.
- Le projet OpenTissue (<http://www.opentissue.org/>) développé par l'université de Copenhague.

Cependant, ils ne possèdent pas la flexibilité présente dans le projet SOFA, qui s'adresse avant tout à la communauté académique désireuse de mettre au point des simulateurs médicaux.

1.2 Architecture

SOFA est essentiellement codé en C++. Il peut se décomposer de la façon suivante : Un noyau logiciel contenant l'architecture globale et des prototypes de fonctions créant la base de la librairie sur laquelle vient s'articuler un ensemble de modules. Ces composants sont indépendants et permettent de modéliser différents types d'objets. On peut les regrouper sous différentes catégories tels que les champs de force, masses, solveurs différentiels, modèles déformables, méthodes de rendu photoréaliste, etc. Enfin, une structure de données arborescente appelée graphe de scène (fichier au format XML) est utilisée pour connecter ces différents composants et créer le modèle à proprement parler.

Cette description en arbre de simulation se décompose en nœuds séparant de manière hiérarchique les niveaux de modélisation des objets et dont les feuilles sont les composants associés à un ou plusieurs objets cf. figure 1.1.

De plus, il est facile d'utiliser plusieurs modèles synchronisés d'un même objet afin d'obtenir une représentation multi-modèles permettant d'optimiser en parallèle des tâches différentes telles que la modélisation de la collision et de la visualisation ou encore le calcul des forces internes.

Cette souplesse permet de modéliser une grande variété d'objets. Des solveurs génériques d'équations différentielles sont utilisés pour piloter la simulation, ce qui permet à des objets régis par des lois de comportement différentes d'interagir. SOFA peut, par exemple, simuler les interactions de structures déformables avec des fluides ou des objets rigides, avec à la fois de grands pas de temps et de grandes raideurs de contact.

Même si de nombreuses propriétés restent à implémenter, la version actuelle de SOFA contient de nombreux modèles (masses ressorts, éléments finis, intégrateurs implicites et explicites), méthodes de détection et réponse aux collisions, ainsi que des implémentations parallèles sur GPU. La généricité ne dégrade pas significativement les performances. Parmi les travaux en cours figure la parallélisation sur des architectures multiprocesseurs et des grappes.

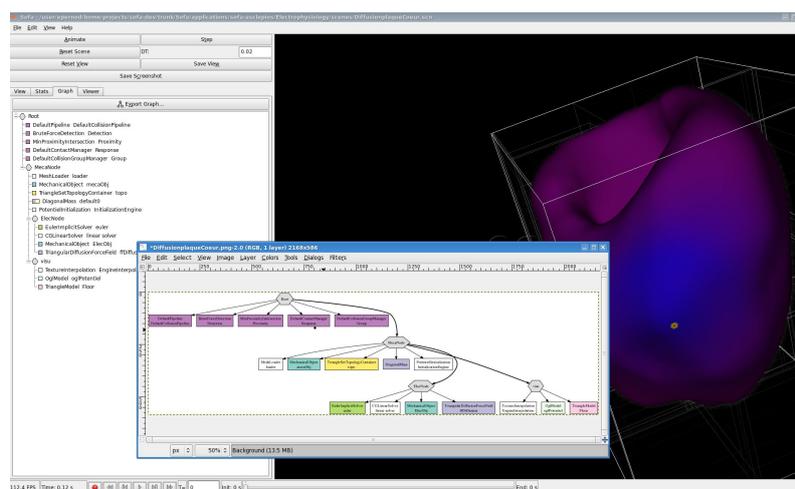


FIG. 1.1 – Logiciel SOFA et illustration d'un arbre de scène.

Objectifs et Cahier des charges

Je travaille en tant qu'ingénieur jeune diplômé au sein de l'équipe Asclepios sur le projet SOFA depuis le début du mois d'octobre 2008. J'ai pris la suite du travail de Barbara André sous la direction de M. Hervé Delingette. Du point de vue du cahier des charges, mon travail démarre donc à $T_0 + 12$ mois.

L'objectif général de la mission d'ingénieur associé sur deux années est d'améliorer la plateforme logicielle SOFA existante suivant deux directions : faciliter la compréhension des concepts et de l'API grâce à une solide documentation et construire des démonstrateurs crédibles en simulation médicale.

2.1 Cahier des charges

Voici les objectifs détaillés tels qu'ils ont été formulés au début de la mission :

Objectif A. Développement de pilotes bas niveau permettant d'interfacer SOFA avec le système à retour d'effort XITACT, qui permet de simuler des gestes chirurgicaux laparoscopiques. Ces systèmes acquis en 2006 sur le contrat plan-état-région sont des systèmes mécaniques très performants par rapport à ceux utilisés précédemment au sein de l'équipe Asclepios. Il est nécessaire de redévelopper les basses couches logicielles sous Linux et Windows permettant de connaître la position de ces outils et d'envoyer des consignes de forces. Ce développement devra être terminé par une démonstration de gestes chirurgicaux à partir d'une démonstration existant déjà dans SOFA.

Objectif B. Portage d'algorithmes de découpe développés par Clément Forest lors de sa thèse. Il s'agit ici d'intégrer dans SOFA les algorithmes permettant de gérer le contact entre un outil laparoscopique (manche et extrémité) et des tissus mous. Ce code est intégré actuellement dans la plateforme logicielle de MIPS (aka Yav++) et il a été publié à plusieurs reprises.

Objectif C. Démonstrateur de résection hépatique à partir du système XITACT. Il s'agit là aussi de porter le démonstrateur de résection hépatique sur la plateforme SOFA, incluant l'insertion de veines dans le parenchyme, une capsule de Glisson, la découpe du parenchyme hépatique. Cette démonstration demandera l'interaction de modèles mécaniques définis par des topologies spécifiques.

Objectif D. Lien avec la bibliothèque CGAL : un des composants de SOFA consiste en une description topologique des maillages et des algorithmes permettant de changer la topologie de ces maillages. Une étude de faisabilité devra être conduite pour voir s'il est possible de définir une classe de trait (Traits class) dans CGAL pour pouvoir utiliser des algorithmes de remaillage locaux.

Objectif E. Démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence pour supprimer les sources d'arythmie cardiaque. En liaison avec l'action d'envergure nationale CardioSense3D sur la modélisation cardiaque, il est intéressant de mettre en place un simulateur d'ablation radiofréquence consistant à brûler les cellules cardiaques responsables de troubles du rythme. Cette intervention s'effectuant en endovasculaire, ce travail sera effectué en collaboration avec l'équipe Alcove de Lille pour la simulation de la radiologie interventionnelle et l'équipe Evasion pour la gestion des collisions.

Tâches	Début	Durée	Effort	Statut T0+12	Statut T0+24
Suivi de la documentation et mise en place de tutoriaux.	T0	24 mois	15%	Oui	Oui
Aide à la conception et à la validation.	T0	24 mois	15 %	Oui	Oui
A. Pilote des systèmes à retour d'effort.	T0 + 1 mois	3 mois	70 %	Non	Non
B. Portage d'algorithmes de découpe.	T0 + 3 mois	4 mois	70 %	Oui	Amélioré
C. Démonstrateur de résection hépatique à partir du système XITACT	T0 + 7 mois	6 mois	70 %	Oui	X
D. Lien avec la bibliothèque CGAL.	T0 + 13 mois	2 mois	70 %	Non	Non
E. Démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence pour supprimer les sources d'arythmie cardiaque	T0 + 15 mois	9 mois	70 %	Non	En cours

2.2 Bilan à la fin de la 1^{re} année

La colonne “Statut T0+12” du tableau ci-dessus illustre l’avancement des tâches à la fin de la 1^{ère} année. Au terme de cette première année les conclusions suivantes ont été émises :

- Les Objectifs **A.** et **E.** n’ont pas été abordés et ont été repoussés à la 2^{ème} année (l’objectif **E.** étant initialement destiné à la deuxième année et l’objectif **A.** étant déjà abordé par d’autres ingénieurs de SOFA).
- Concernant l’établissement du lien avec la bibliothèque CGAL (Objectif **C.**), une première tentative n’a pas abouti en raison de la difficulté à rendre compatible l’architecture de la topologie dans CGAL d’une part et dans SOFA d’autre part. Cependant, l’intégration de la librairie Graphe de Boost a été effectuée et offre des applications intéressantes.
- Enfin, bien que le système XITACT n’ait pas été exploré, nous avons pu mettre au point au terme de cette première année de mission de nombreuses démonstrations de résections surfaciques ou volumiques.

Finalement, le travail effectué pendant cette première année a révélé l’importance d’établir une architecture de la topologie suffisamment complexe pour répondre aux besoins dans SOFA tout en gardant une certaine clarté et flexibilité. Ainsi, de nouvelles fonctionnalités ont été développées, qui n’étaient pas prévues mais se sont avérées utiles pour la mise au point de simulateurs (en particulier grâce au concept des “Composants Relationnels (mappings) Topologiques” compatibles avec les changements topologiques). Et le souhait de continuer l’enrichissement de cette topologie se retrouve dans le planning prévisionnel de la seconde année ci-dessous :

Objectifs à court terme :

1. Implémenter les classes de la topologie de type “manifold” (variété différentielle), pour les triangulations et les tétrahédrisations.
2. Mettre en oeuvre le concept du “Composite Topologie” pour permettre le traitement de maillages hétérogènes (par exemple : un ensemble de triangles et de quadrilatères avec des arêtes communes).
3. Automatiser la gestion des interactions avec l’utilisateur par l’ajout d’une association de la forme (entrée clavier/souris, action) dans le fichier scène et implémenter des classes “Interactor” spécifiques.
4. Préparer l’introduction de champs scalaires ou vectoriels non mécaniques (température, potentiel électrique, orientation des fibres, etc.) dans SOFA

Objectifs à long terme :

1. Mettre au point un démonstrateur de simulateur d’ablation radiofréquence pour supprimer les sources d’arythmie cardiaque.
2. Connexion avec un système à retour d’effort dédié à la radiologie interventionnelle.

Travaux effectués

Cette partie décrit mon travail sous forme d'étapes chronologiques. Chaque étape est quantifiée (en semaine(s)) mais il est évident qu'il s'agit là d'un découpage approximatif ne tenant pas compte des chevauchements.

3.1 Découverte de SOFA (5 semaines : Du 01/10/08 au 10/11/08)

1 - Introduction et prise en main du logiciel : 4 semaines

Le travail pendant ces premières semaines a consisté tout d'abord à lire la documentation de SOFA ainsi que son Wiki et à prendre contact avec la communauté (essentiellement via le chat IRC du projet). Puis, dans un second temps, il a consisté à parcourir les tutoriaux et à se plonger dans le code.

2 - Prise en main de la description topologique dans SOFA : 1 semaine

Une fois l'architecture de SOFA découverte, une deuxième phase a été de prendre en main la partie du code concernant la topologie (développée ici à Asclepios). Cette description de la topologie est basée sur une structure hiérarchique des éléments topologiques (points, arêtes, etc.) cf. figure 3.1. Chaque élément est ensuite décrit par quatre classes :

- **Le “container”** : cette classe stocke les informations relatives au maillage.
- **Le “modifier”** : elle contient les méthodes de base des transformations topologiques.
- **Algorithmes Topologiques** : elle contient les méthodes générales de transformations topologiques, accessibles par l'utilisateur.
- **Algorithmes Géométriques** : cette dernière contient les informations géométriques du maillage.

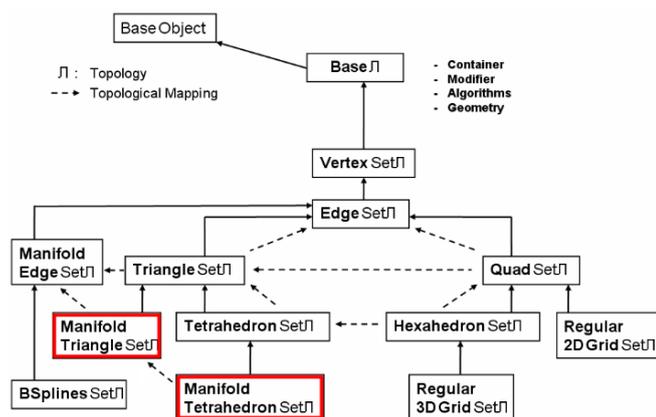


FIG. 3.1 – Architecture de la topologie dans SOFA.

3.2 Enrichissement de la Topologie (16 semaines : Du 10/11/08 au 30/03/09)

3 - Implémentation des triangulations “manifold” partie 1/3 : 4 semaines

J’ai divisé la mise en oeuvre de l’implémentation des triangulations de type “manifold” (variété différentielle) en trois parties car, d’un point de vue chronologique, j’ai dû effectuer des tâches intermédiaires. Cependant chaque période reflète une partie de l’implémentation.

Cette première partie correspond à la mise en place de la classe “container” de ces triangulations. Cette classe est celle qui contient toutes les données de la triangulation (liste de triangles, composition de ces derniers, informations sur les voisinages, etc.) et qui est régie par le concept de triangulation de type “manifold”.

*** - 5ème réunion SOFA : 1 semaine**

Du 08/12/08 au 12/12/08 s’est déroulée la 5ème réunion SOFA à Lille, réunissant tous les acteurs du projet. Elle a constitué une très bonne découverte de SOFA en ce qui me concerne, mais a eu lieu malheureusement un peu tard pour moi.

4 - Implémentation des triangulations “manifold” partie 2/3 : 4 + 1 semaines

La continuité de l’implémentation de ces triangulations a consisté à mettre en place les changements topologiques c’est-à-dire l’ajout et la suppression de triangle(s). Ces méthodes sont déjà présentes dans les triangulations mais dans notre cas le caractère “manifold” doit être maintenu ou alors l’opération n’est pas permise. Pour ce faire nous avons choisi d’implémenter le pattern “Template Méthode” utilisant des pré/postprocessings.

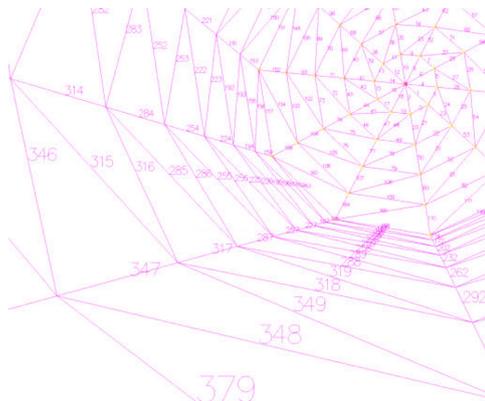
L’implémentation de cette méthode a mis plus de temps que prévu (+1 semaine) à cause du mécanisme de renumérotation des triangles et du cas de la suppression de triangles proche d’un bord du maillage.

5 - Implémentation des premières visualisations propres à la topologie : 1 semaine

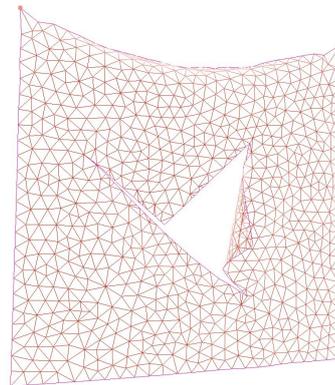
Afin de rendre les modules de la topologie plus riches d’un point de vue utilisateur, de nouvelles options ont été rajoutées à la GUI. Les méthodes d’ajout et de suppression de triangles sont maintenant accessibles via la GUI. Il est également possible d’afficher à partir de la topologie tous les éléments la composant, ainsi que leurs indices cf figure 3.2.

6 - Implémentation des tetrahédrisations “manifold” partie 1/2 : 1 semaine

Lors d’un Workshop sur la topologie à Lille, un besoin concernant l’utilisation des tetrahédrisations de type “manifold” a été formulé. J’ai donc, laissé en suspens les triangulations pour implémenter la base du container de ces tetrahédrisations. A l’heure actuelle, il est possible d’utiliser une telle topologie, mais aucun changement topologique n’est supporté pour l’instant (partie 2/2 à faire).



(a) Visualisation d'arêtes et de leur indice.



(b) Visualisation d'une composition relationnelle de triangles (rouge) vers des arêtes (violet).

FIG. 3.2 – Exemples de visualisations propres à la topologie.

7 - Implémentation des triangulations “manifold” partie 3/3 : 4 semaines

Cette dernière partie concerne l'implémentation d'algorithmes supportés uniquement dans ces triangulations. Une première méthode permet de réordonner toutes les listes de données de la triangulation de façon cohérente. Une deuxième permet d'optimiser de tels maillages en échangeant des arêtes (swapping), c'est-à-dire, pour deux triangles adjacents, on intervertit l'arête commune.

* - Séminaire Asclepios : 1 semaine

Du 23/03/09 au 26/03/09 s'est déroulé le séminaire Asclepios. A cette occasion, chaque membre de l'équipe a présenté son travail.

8 - Finitions & documentations : 1 semaine

Pendant cette étape, un travail de nettoyage et de documentation du code a été effectué. De nouveaux tutoriaux concernant la topologie ont été rajoutés sur le Wiki. Certains aspects tels que la visualisation ont également été optimisés.

* - Tâches de fond d'ingénieur SOFA : 1 semaine

Tout au long de cette période j'ai effectué différentes tâches de fond d'ingénieur SOFA, telles que l'installation de SOFA sur une machine de démonstration pour l'équipe, ou encore, la création d'un nouveau projet “sofa-asclepios” sur la GForge. Ce dernier s'imbrique dans SOFA (sans créer de dépendances) et permet aux différents membres de l'équipe Asclepios utilisant SOFA de coder et de partager leur travail sans envahir le code source de SOFA.

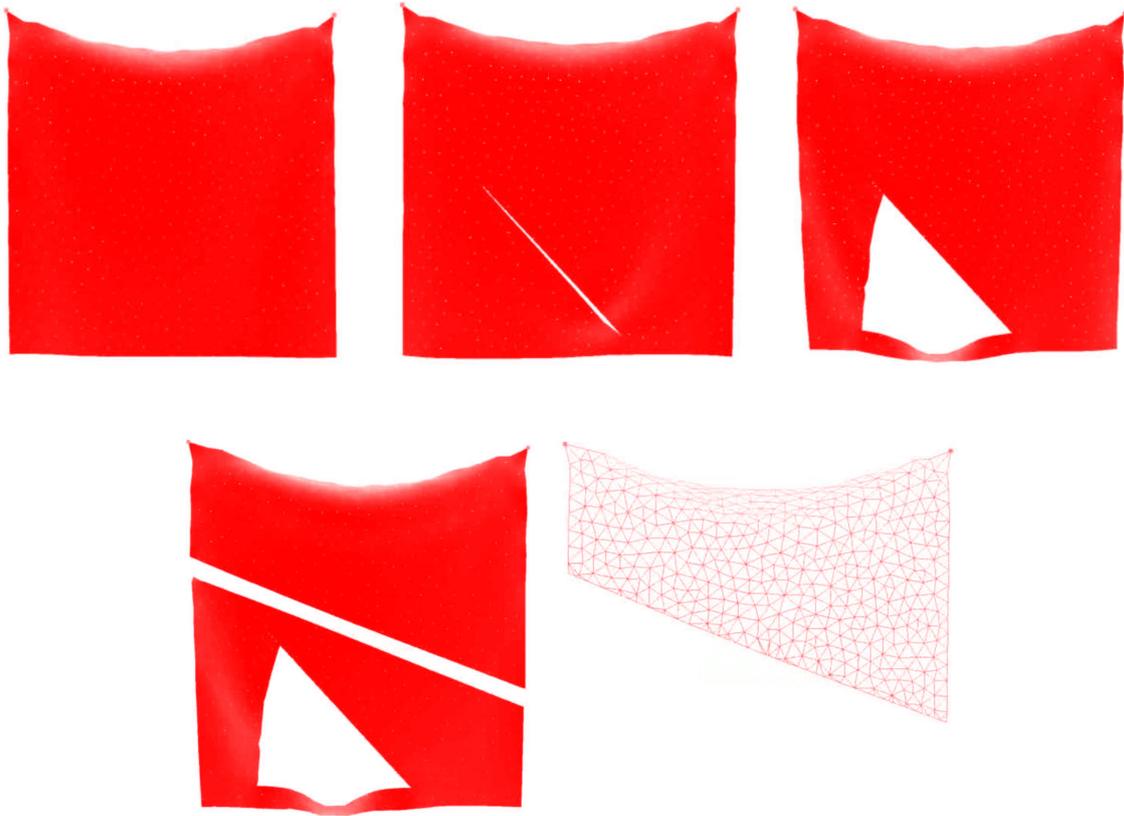
3.3 Amélioration de l'incision dans les triangulations (12 semaines : Du 30/03/09 au 29/06/09)

9 - Débug de la méthode actuelle : 2 semaines

La découpe dans les triangulations avait été implémentée lors de la 1ère année. Malheureusement de nouvelles modifications dans le code de SOFA avaient rendu ce code obsolète. Un travail de compréhension et de mise à jour du code a donc été nécessaire.

10 - Amélioration de la méthode et ajout du concept de “snaping” : 8 semaines

Lors de la première implémentation, le concept visant à modifier le maillage en projetant des sommets sur le chemin de découpe afin d'éviter la formation de petits triangles (snaping) avait été abordé mais restait inachevé. Il a donc été décidé de finir ce travail. Cependant, cet ajout impliquait de telles modifications qu'une refonte du code a été nécessaire. Par la même occasion la définition du chemin de découpe a été généralisé à tout type d'élément topologique. Cette généralisation a été forte utile pour le “snaping” et prépare le terrain pour une éventuelle découpe dans les tétrahédrisations. Ci-dessous, une illustration de cette application :



3.4. Préparation de SOFA pour le démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence (12 semaines : Du 29/06/09 à actuellement)

11

L'implémentation du snapping a pris plus de temps que prévu car je me suis heurté à une opération inexistant dans SOFA, à savoir, le déplacement mécanique (et non géométrique) d'un point tout en gardant une cohérence des champs de force contenus dans le maillage. Il a donc fallu coder ce nouvel évènement topologique.

11 - Portage de la méthode dans les triangulations de type "manifold" : 2 semaines

Un dernier effort concernant la découpe a été de rendre possible cette découpe dans ce type de triangulations. Cela a consisté en une généralisation des méthodes et l'ajout de tests vérifiant le maintien de l'aspect "manifold" de la topologie. Cette nouvelle implémentation laisse la possibilité de remailler la triangulation à l'aide du "swapping".

* - sofa-asclepios en plugin : <1 semaine

Suite à la mise en place d'un système de gestion de plugins dans SOFA, le concept de plugin a été généralisé dans le projet sofa-asclepios permettant d'inclure les différentes bibliothèques du projet sous la forme de plugins dans SOFA. Cela limite grandement les problèmes liés aux dépendances d'un projet à l'autre.

* - Changement de tous les noms de la topologie : 1.5 semaines

Tous les noms utilisés dans la topologie ont été revus, car jugés souvent peu clairs. La modification de ces noms dans l'ensemble du code a été automatisé via un script. Ce script a été distribué à la communauté de SOFA, permettant aux différents acteurs de mettre à jour leur code personnel (non disponible sur la GForge).

Par la même occasion, certaines typographies de fonction ont été revues pour garder une cohérence dans les différentes classes de la topologie.

3.4 Préparation de SOFA pour le démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence (12 semaines : Du 29/06/09 à actuellement)

12 - Benchmark diffusion de potentiel : 2.5 semaines

Un premier pas dans l'introduction de champs scalaires non mécanique dans SOFA a été effectué. En effet, cette tâche a consisté en la modélisation de la propagation d'un potentiel (ici température) dans des modèles SOFA cf. figure 3.3. Pour ce faire, de nouveaux composants ont dû être implémentés dans SOFA : d'une part, des modèles de loi de comportement de la diffusion de la chaleur en 2D et 3D, d'autre part un nouveau rendu visuel.

13 - MeshLoader : 2+1 semaines

Un nouveau pas vers le démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence a été d'étendre

le composant utilisé pour charger les maillages. Le but est de pouvoir charger dans SOFA des formats de maillage propre à l'équipe Asclepios. Ces derniers contiennent, dans le cas du coeur, des informations électro-physiologiques. Il a donc été décidé de mettre en place un module de chargement de maillage sous la forme d'une Template "Factory". Cela permettra à l'avenir, de rajouter facilement le support de nouveaux types de maillage.

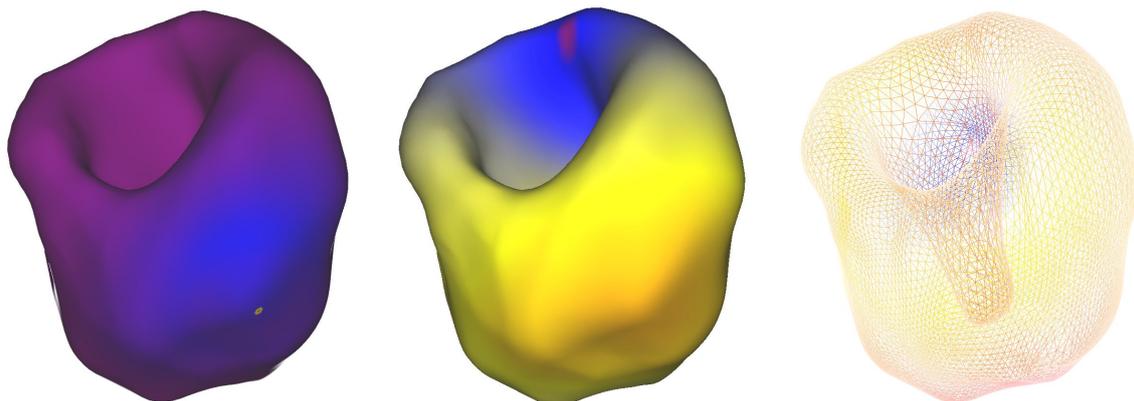


FIG. 3.3 – Diffusion de chaleur dans un maillage tétraédrique d'un ventricule d'un coeur.

3.5 Confrontation avec le cahier des charges

La colonne "Statut T0+24" du tableau 2.1 illustre l'avancement des tâches à la fin de ces deux années. En confrontant les travaux effectués avec la planification originale, nous nous sommes rendus compte que certains objectifs ont pris du retard, notamment le démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence (Objectif **E.**).

Ce retard peut néanmoins s'expliquer par un changement de priorités tout au long de ces deux années. En effet, il faut tenir compte du fait que trois équipes INRIA travaillent conjointement dans le projet SOFA. Les différentes réunions ont fait remonter la nécessité d'implémenter une structure riche pour la topologie. En effet, la topologie est l'un des éléments de base de la simulation dans SOFA. Or, l'équipe de Sophia-Antipolis possède de meilleures compétences dans ce domaine. Un certain nombre d'éléments topologiques ont donc été implémentés, comme par exemple les topologies dynamiques, ou encore le concept des "Composants Relationnels Topologiques" compatibles avec les changements topologiques.

Ces fonctionnalités ont permis aux trois équipes de mettre en oeuvre de nombreux simulateurs. Elles étaient également nécessaires pour mettre en oeuvre les démonstrations de résections surfaciques et volumiques (à la place du système XITACT) ou encore pour la découpe dans les triangulations (objectif **B.**).

A présent, le travail se porte essentiellement vers le démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence. Un premier pas a été de simuler la propagation d'un potentiel dans des modèles

propres à SOFA. Cette première tâche a été un succès et est encourageante pour la suite. D'autre part, la partie concernant les outils de navigation avec retour d'effort (Objectif **A.**) a été très approfondie par l'équipe Alcove en utilisant comme support, la bibliothèque Chai3D, ce qui promet une adaptation rapide de cet outil pour nos simulations.

Perspectives

Tâches	Début	Durée	Effort
Suivi de la documentation, maintien du code et mise en place de tests, de tutoriaux et d'exemples.	T0	12 mois	20%
A. Achever l'implémentation de certains concepts dans les topologies (suppression d'éléments, raffinement local, découpe) du type triangulations et tetrahédrisations "manifold". Ajout de tests de validité et mise en place de Composants Relationnels entre topologies de type "manifold".	T0	2 mois	80%
B. Implémentation de méthodes de propagation électro-physiologique dans SOFA en utilisant les champs scalaires (potentiel électrique). Les modèles choisis sont des équations de réaction-diffusion (Fisher-Kolmogorov, Fitzhugh-Nagumo, Aliev-Panfilov) et un modèle Eikonal. Ces méthodes ont déjà été implémentées dans la librairie MIPS, propre à l'équipe Asclepios.	T0 + 2 mois	2 mois	80%
C. Intégration des outils de navigation développés par l'équipe Alcove, pour des opérations endovasculaires. Le premier prototype simulera l'insertion d'un cathéter dans le ventricule gauche du coeur d'un patient (afin de simuler une ablation radiofréquence pour supprimer les sources d'arythmie cardiaque).	T0 + 4 mois	4 mois	80%
D. Implémentation du démonstrateur de simulateur d'ablation radiofréquence : modification de la conductivité des tissus, optimisation de la méthode précédente (amélioration des maillages utilisés, du modèle de collision et optimisation des calculs électro-physiologiques).	T0 + 8 mois	3 mois	80%
Documentation du code développé dans SOFA.	T0 + 11 mois	1 moi	80%

La tâche **D.** dépend de la tâche **C.**, qui, dépend elle même de la tâche **B.**.

5.1 Environnement de travail

Au niveau de l'environnement de travail au sein de l'équipe Asclepios, il n'y a pas eu de surprise, puisque j'avais effectué mon stage de dernière année d'école d'ingénieur dans cette équipe et j'ai été ravi de pouvoir continuer cette expérience.

Du point de vue de mon travail d'ingénieur, j'ai été bien encadré par mon tuteur, Hervé Delingette, ainsi que par mon encadrant DREAM, Julien Wintz.

Le début de la mission n'a cependant pas toujours été facile étant donné que j'étais le seul ingénieur basé à Sophia-Antipolis à travailler sur le projet SOFA. Cependant l'utilisation d'un chat IRC ainsi que d'une liste de diffusion m'ont permis de rester en contact avec les autres ingénieurs de Lille et de Grenoble, et ainsi, d'obtenir de précieuses réponses à mes questions et de collaborer plus facilement. De nombreuses réunions téléphoniques ainsi qu'une réunion d'une semaine à Lille m'ont également permis de mieux connaître les autres membres du projet et de me familiariser au travail en groupe.

De plus, ayant acquis une certaine assurance dans mes connaissances, il est d'autant plus intéressant pour moi de travailler dans SOFA que de nouvelles personnes à Asclepios ont rejoint l'équipe au courant de l'année et utilisent régulièrement SOFA pour leur travail.

5.2 Bénéfices personnels

Cette première année d'ingénieur jeune diplômé m'a apporté beaucoup de nouvelles connaissances dans divers domaines : à la fois sur le plan scientifique (compréhension de la modélisation des structures déformables et de la simulation virtuelle des comportements physiques, mécaniques et physiologiques d'objets réels) que sur le plan technique où j'ai dû apprendre à évoluer dans un projet avec une architecture logicielle complexe.

Plus précisément, j'ai pu approfondir mes connaissances en programmation C++, ainsi que me familiariser avec certains "Design Pattern" (Template méthode, factory, singleton) ou encore créer des plugins. J'ai également appris à gérer un projet sous subversion et découvert les joies des projets multi-plateformes. A travers mes tâches d'ingénieur en tant que membre de l'équipe Asclepios, j'ai également découvert la création de Dashboard et la gestion de site internet.

Le fait de travailler avec d'autres équipes de l'INRIA m'a également permis de découvrir le travail en équipe et de comprendre l'importance de la communication au sein d'un projet. De plus, le fait que je sois le seul ingénieur de ce projet à Sophia-Antipolis, m'a donné une certaine confiance dans mon aptitude à travailler de manière autonome.

Les principaux langages et outils utilisés pendant cette année sont : C++, XML, SVN, Qt, CMake, Cdash, PmWiki, Trac.

5.3 Conclusion

En conclusion, bien que le planning initial ait été légèrement modifié, les nouvelles directions prises ont été très utiles au développement de SOFA. De plus, l'effort conjoint des équipes a porté ses fruits et offre à présent de bonnes perspectives pour l'avenir. Mon travail en tant qu'ingénieur jeune diplômé m'a permis d'acquérir une solide base de connaissances dans ce domaine, qui ne demande qu'à être enrichie.