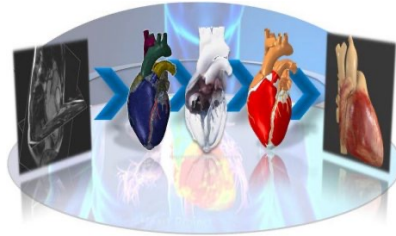


Apport de la Réalité Virtuelle dans le domaine médical

Florence Zara

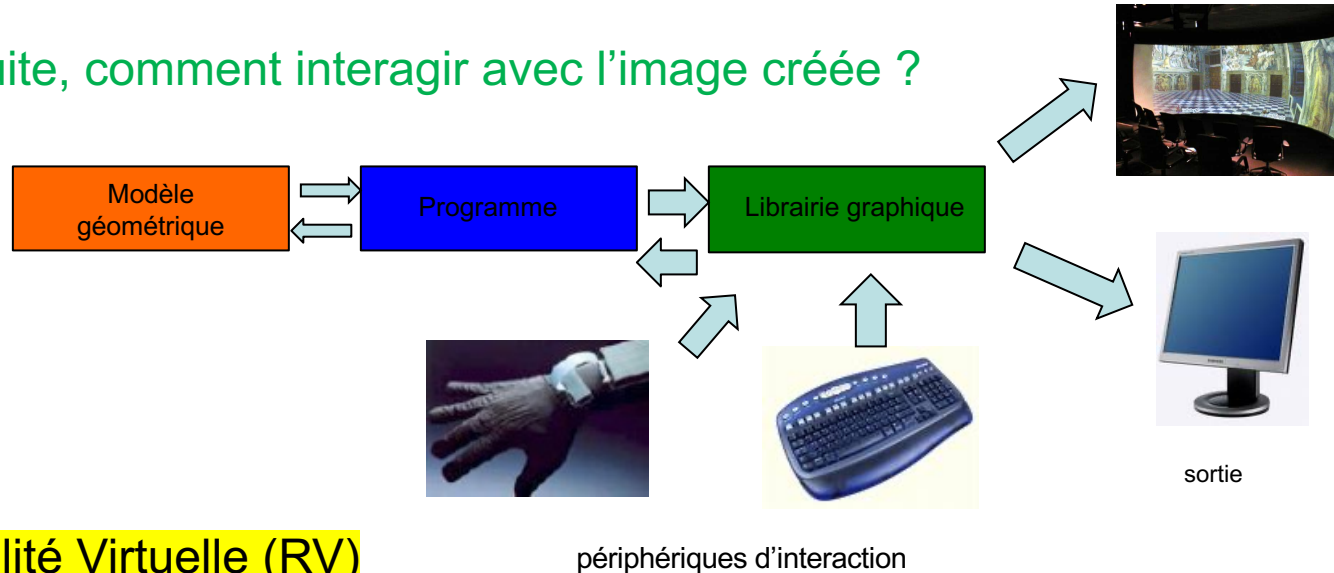
Université Claude Bernard Lyon 1, LIRIS



Rappel des étapes de bases pour créer des images virtuelles animées

- 1- **Modélisation géométrique** : représentation mathématique des objets virtuels
- 2- **Simulation / animation** : déformation et mouvement des objets virtuels
- 3- **Visualisation / rendu** : affichage des objets virtuels

Et ensuite, comment interagir avec l'image créée ?



C'est la Réalité Virtuelle (RV)

Plan du cours

Comment interagir avec l'image créée ?

- C'est la Réalité Virtuelle (RV)

Domaines d'applications et motivations de la RV

Dispositifs matériels

Apport de la Réalité Virtuelle dans le monde médical

- Architecture d'un système de RV
- Conception de simulateurs d'apprentissage de gestes médicaux

Comment interagir avec l'image créée ?

C'est la Réalité Virtuelle

Objectifs :

- Immerger l'utilisateur dans le monde virtuel
- Interagir avec le monde virtuel
- Reproduire les sensations du réel : vision, toucher, interaction

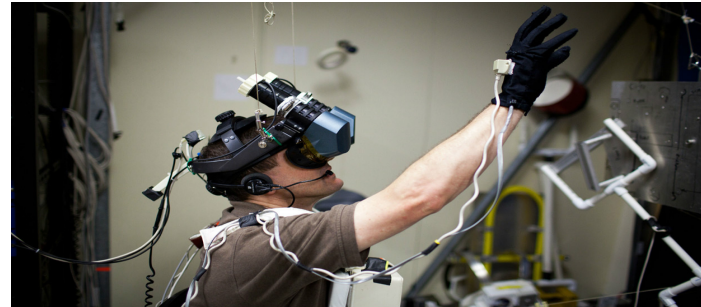


Image virtuelle + matériel de vision + robotique

Domaines d'applications de la RV - Divertissement



Domaines d'applications de la RV - Santé

Traitement de différentes pathologies



Apprentissage



Domaines d'applications de la RV - Aviation

Simulateurs d'apprentissage
pour pilotage avion



Motivations de la Réalité Virtuelle

Environnement habituel de travail sur machine

- Humain vers machine : souris, clavier
- Machine vers humain : affichage 2D ou 3D sur un écran



**Echange d'informations homme / machine (ou homme / application numérique)
très limité par rapport aux capacités humaines
(5 sens, mouvements mécaniques, émission d'ondes cérébrales)**

Motivations de la Réalité Virtuelle

Objectif de la RV

Permettre de visualiser, manipuler et d'interagir avec des ordinateurs et des données complexes

Objectif au niveau de la technologie

Permettre d'**immerger** l'utilisateur dans un monde virtuel représentant la réalité

Immersion au niveau de la **visualisation (vue)**
du **rendu sonore (ouïe)**
du **rendu olfactif (odorat)**
ou des **sensations tactiles (toucher)**

Résultat pour l'utilisateur

Il interagit avec le monde virtuel en manipulant directement les objets à l'intérieur de ce monde avec une immersion complète ou du moins augmentée

Réalité Virtuelle - Dispositif matériel pour la visualisation

Objectif : **Améliorer la qualité de l'information visuelle**

- Augmenter la taille et la résolution du champ visuel
- Affichage 3D stéréoscopique (vision en relief)
 - ⇒ Meilleure sensation d'immersion
 - ⇒ Meilleure appréhension des structures 3D

Ecran remplacé par un autre dispositif de vision

Exemple de dispositifs d'affichage permettant cette immersion visuelle :

- Lunettes de RV, murs d'images, *CAVE*, *workbench*, ...

Réalité Virtuelle - Dispositif matériel pour la visualisation

Mur de projections = association de plusieurs vidéo projecteurs

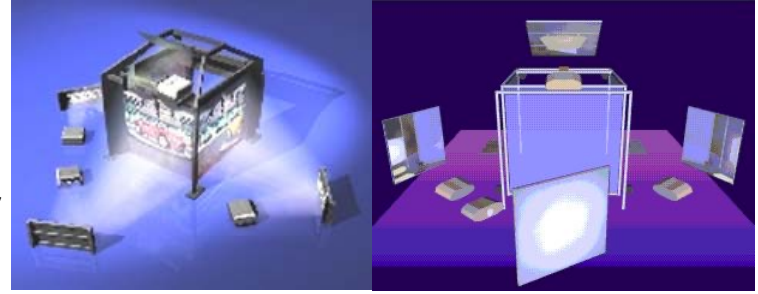
- Intérêts : haute résolution, collaboration, travail à l'échelle 1
- Mais...
 - Couverture incomplète du champ visuel
 - Coût élevé



RV - Dispositif matériel pour la visualisation

Visio Cube ou CAVE : immersion visuelle complète

- Stéréoscopie masque structure cubique à l'utilisateur
- Travail à l'échelle 1
- Possibilité d'introduire des maquettes réelles



RV - Dispositif matériel pour la visualisation

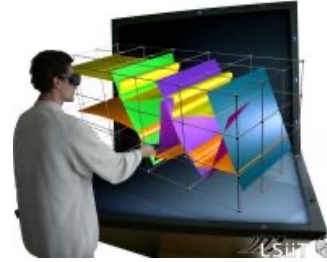
Visio plan ou Workbench

Premier *workbench* créé en 1993 au GMD (Allemagne)

Au lieu d'être immergé dans le monde virtuel, l'utilisateur le surplombe

- Couverture limitée du champ visuel
- Collaboration (limité en stéréoscopie)
- Position de travail approprié (opération chirurgicale virtuelle)

Encombrement et coût raisonnable



RV - Dispositif matériel pour la visualisation

Casque de Réalité Virtuelle



Utilisateur porte écran près de ses yeux



RV - Dispositif matériel pour la visualisation

Limitations actuelles des casques de RV

Limitations technologiques

- Faible résolution
- Souvent lourd
- Difficile de traquer précisément mouvements de la tête
 - Immersion peu réaliste
 - Malaises

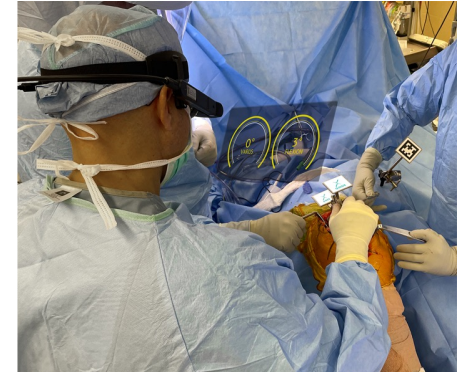
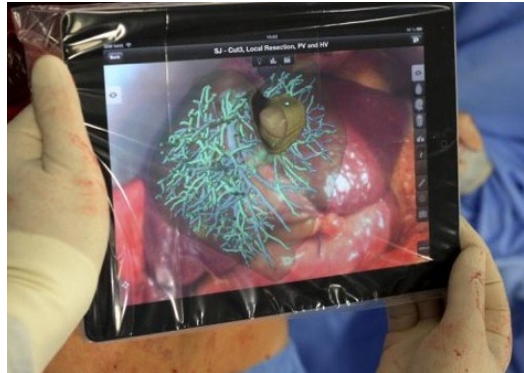
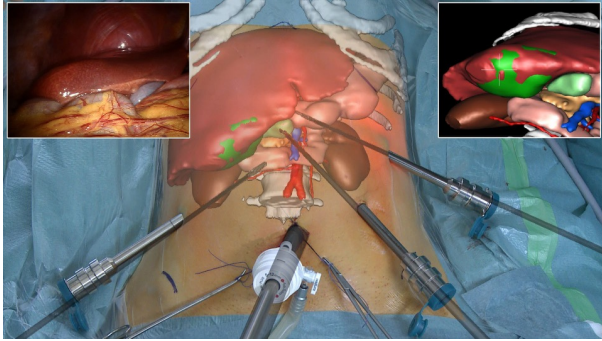
Utilisateur visuellement isolé

- Ne voit pas les autres
- Ne se voit pas lui-même

Nécessite reproduction numérique de ce qui n'est plus visible

RV - Dispositif matériel pour la visualisation

Et bien d'autres dispositifs...



RV - Dispositifs matériels pour la manipulation des objets virtuels

Objectif : interagir en restituant la sensation du toucher

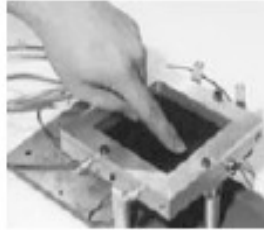
Résultat : souris/clavier remplacés par autre dispositif d'interaction : **les interfaces haptiques**

Systèmes haptiques permettent d'obtenir un **retour de l'environnement virtuel** sous la **forme de forces**

Interfaces haptiques permettent ainsi d'obtenir un **retour tactile (sensation de toucher)** lors de la manipulation d'objets de la scène virtuelle

Ces interfaces permettent un retour sur la **position** et le **mouvement** de l'utilisateur

Ces interfaces permettent ainsi l'obtention de nouveaux dispositifs d'interaction 3D



Interface basée sur des fluides électro-rheologique -
Université de Hull - Angleterre



“Pain Station” - Sensations thermiques -
AMA - Cologne, Allemagne



DataGlove modifié avec des actionneurs
pneumatiques - TNEL - Japon

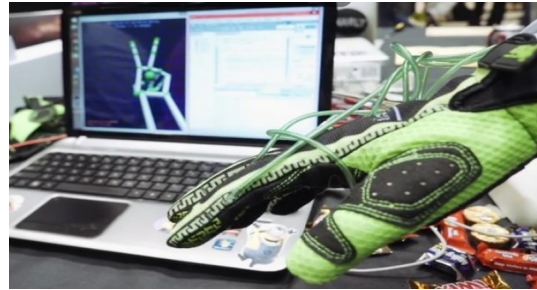
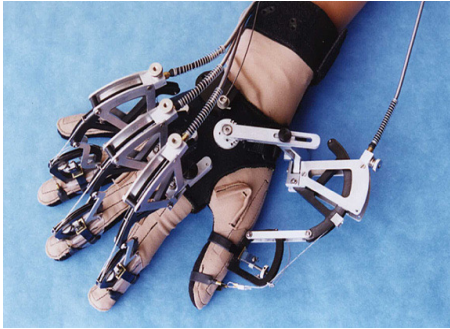


Gants DataGlove - VPL

Réalité Virtuelle - Dispositif matériel pour le retour tactile

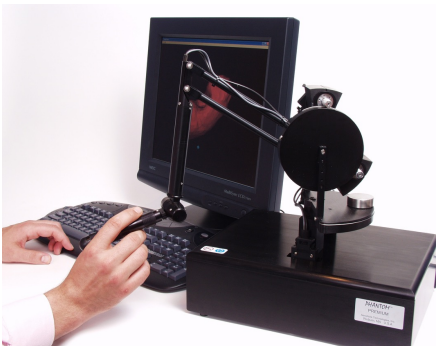
Systèmes haptiques - Gants

Forces appliquées sur les doigts suite à la manipulation des objets présents dans l'environnement virtuel



RV- Dispositif matériel pour le retour tactile **Systèmes haptiques - Bras à retour d'efforts**

[vidéo](#)



6 DOF Phantom Premium 1.5



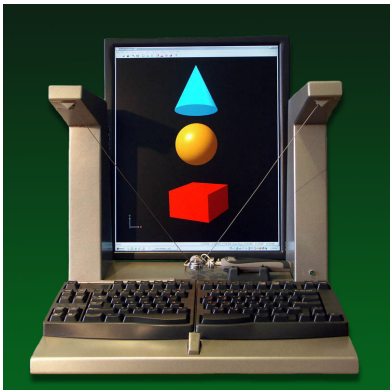
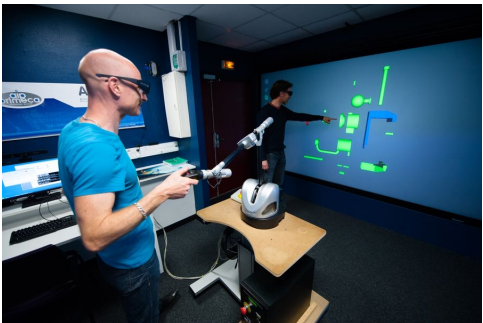
Phantom Omni - Sensable



Haption



6 DOF Delta
from Force
Dimension

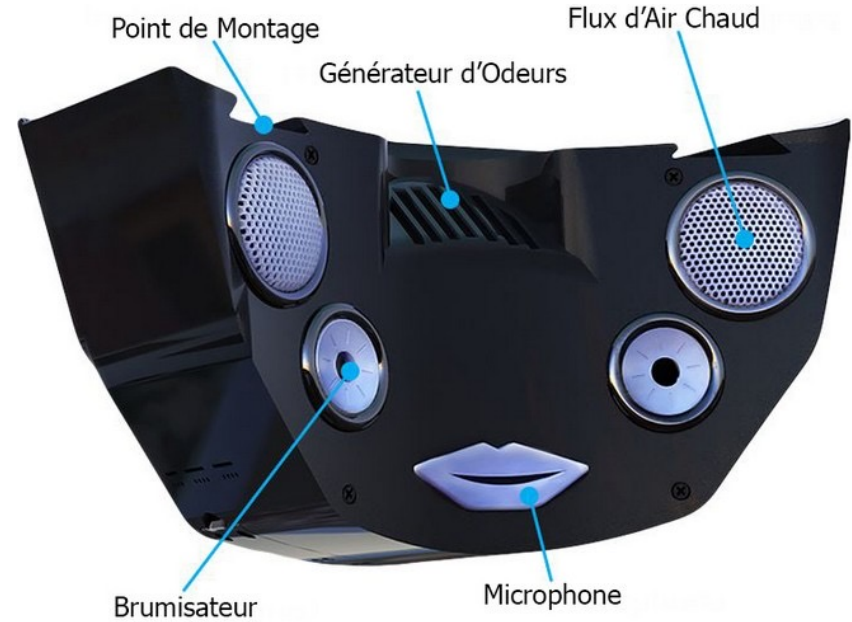


Mantis - Mimic



Falcom - Novint

RV - Encore plus d'immersion : restitution des odeurs



Apport de la Réalité Virtuelle / Informatique Graphique dans le monde médical

Conception de simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux : approche globale

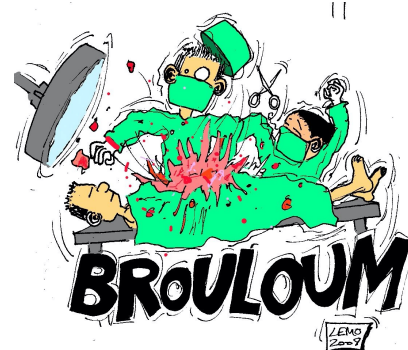
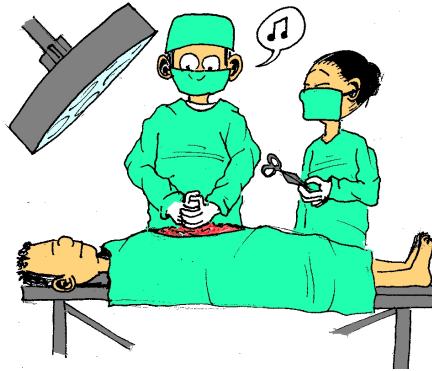
Quelques exemples de simulateurs :

- Simulateur pour l'apprentissage du traitement de la cataracte
- Simulateur pour l'apprentissage de l'extraction par forceps
- Simulateur pour l'apprentissage de l'insertion d'aiguilles
- Simulateur pour l'apprentissage du geste AFE en kinésithérapie respiratoire

Conception de simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux

Apprendre et acquérir la dextérité nécessaire
aux gestes médicaux-chirurgicaux **sans risque pour le patient**

« Jamais la première fois sur le patient »
Haute autorité de Santé (HAS), rapport 2012.



LEMI Dessins de Presse
et autres Galipotes

Motivations

Intérêt d'un apprentissage sur simulateurs basés RV :

- Apprentissage sans risque pour le patient
- Multiplier et cibler les situations rencontrées :
 - Gestes / pathologies / situations morphologies : usuels et rares
- Améliorer la connaissance et le raisonnement du geste
 - Pour mieux l'acquérir, le comprendre, se l'approprier
- Entraînement avant une opération à risques (patient spécifique)

Plusieurs étapes à résoudre pour concevoir de telles applications / simulateurs basés RV :

- Modèles géométriques
- Rendu du moteur (animation et affichage)
- Interfaces haptiques
- Validation des parties individuelles et validation en termes d'apprentissage

Enjeux de la conception de simulateurs pour l'apprentissage médical

Fournir à l'équipe médicale

une interface : la plus complète possible ; simple d'utilisation ; proche possible du terrain
pour assurer l'acceptabilité de l'outil par le corps médical

Avoir un coût compatible avec utilisation en milieu hospitalier

Assurer la portabilité du dispositif proposé
Implantation de salles complètes ou simulateur déplacé régulièrement

Assurer le réalisme du simulateur pour immerger équipe médicale

Réalisme doit être en accord avec son apport pour la formation

Elaborer des **scénarios pertinents et progressifs** pour l'apprentissage

Evaluer **l'apport pour l'apprentissage**

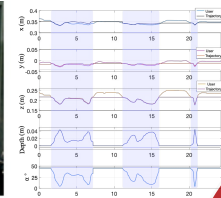
Accélération de l'apprentissage ? Qualité de l'apprentissage ?

Simulateur doit permettre d'apprendre le « vrai geste »

« Il faut apprendre à opérer un vrai patient et non pas à opérer sur le simulateur. »

Etapes de conception d'un simulateur d'apprentissage basé sur la RV

Logiciel didactique



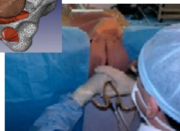
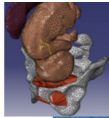
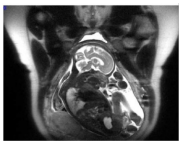
1- Analyser, comprendre le geste et son apprentissage

2 - Définir le cahier des charges du simulateur

3 - Elaborer des scénarios pertinents pour l'apprentissage

4 - Evaluer le simulateur

Données médicales, expertise & validation



Valider les composants du simulateur

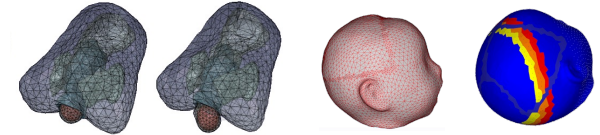
Didactique

Biomécanique
et Informatique
graphique

Clinique

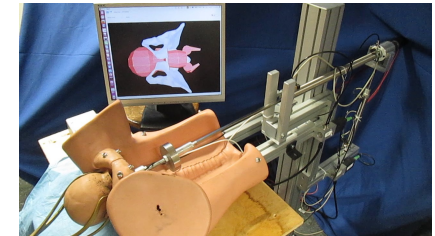
Robotique

Simulation numérique



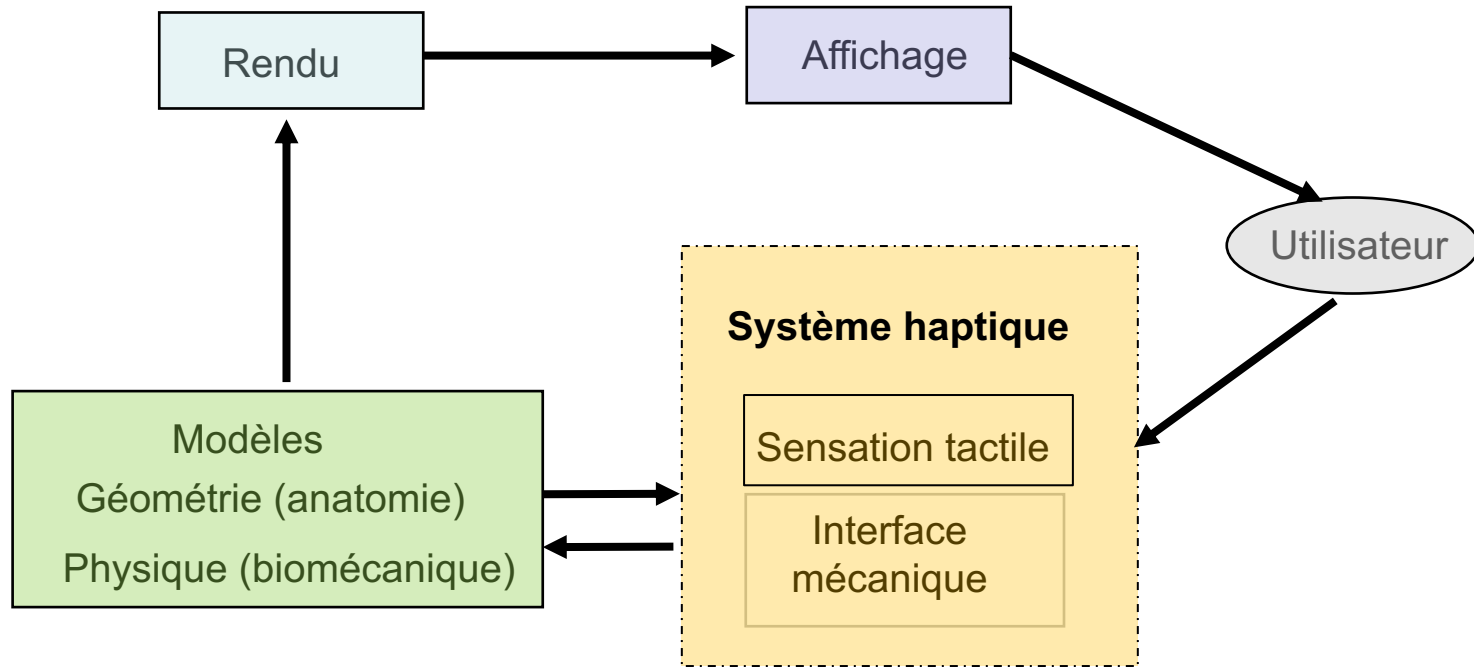
Simuler et visualiser le comportement
des organes en temps réel

Système haptique

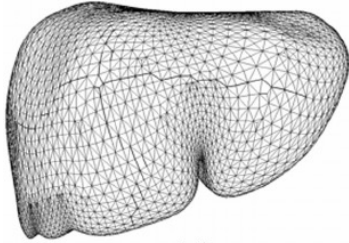


Reproduire sensations tactiles du geste

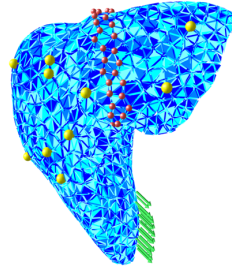
Architecture du système de Réalité Virtuelle



Architecture du système de Réalité Virtuelle – Les différents éléments



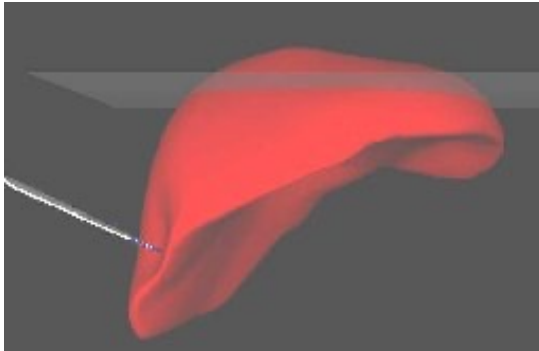
maillage = représentation
des objets manipulés



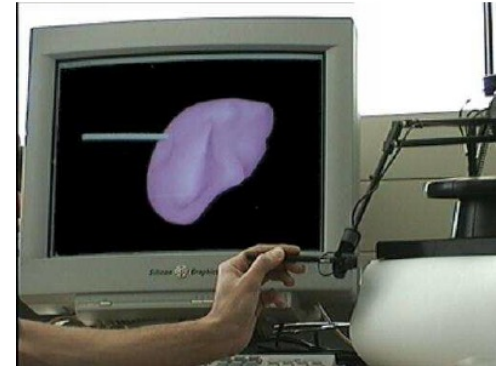
simulation = calculs effectués
sur les éléments du maillage



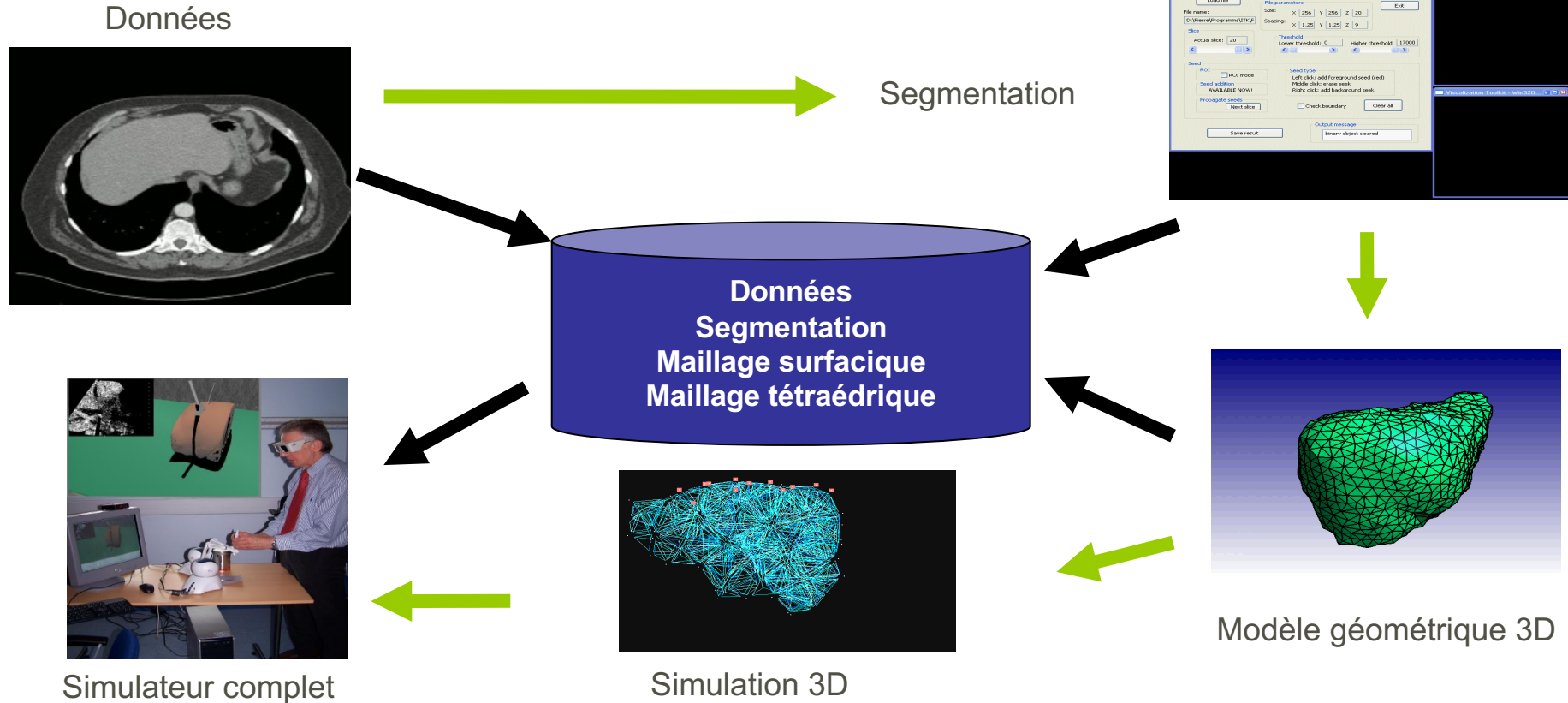
rendu = affichage de la représentation



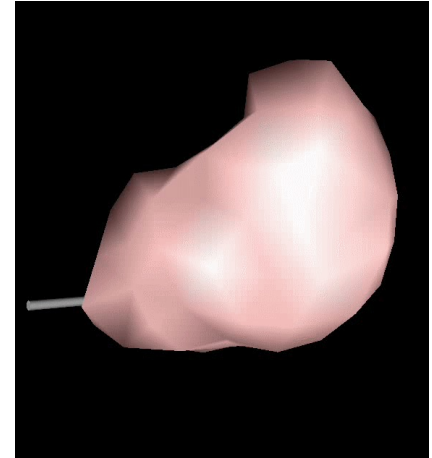
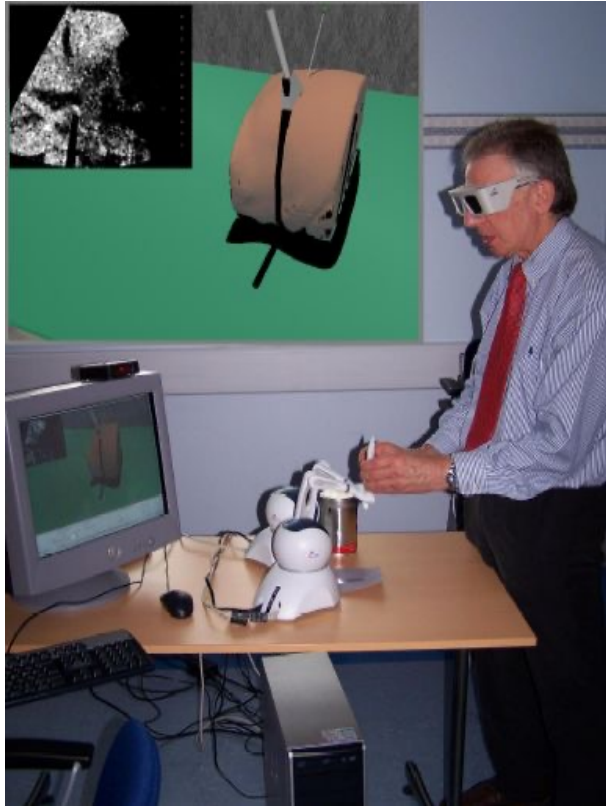
interaction utilisateur
=
sensation tactile
+
déformation



Architecture du système de RV – Exemple simulateur de biopsies de foies



Exemple simulateur de biopsies de foies



Retour sur le processus de création d'images virtuelles en Informatique Graphique

Ajout des étapes spécifiques pour conception d'un simulateur médical

Récupération de données de patient de type IRM, scanners, etc.
Segmentation de ces données par un médecin expert

1- Modélisation

Traitement des données pour obtenir une structure 3D

2- Simulation / animation des objets 3D

3- Visualisation / rendu / affichage des objets simulés

4- Couplage avec des interfaces haptiques (Réalité Virtuelle)

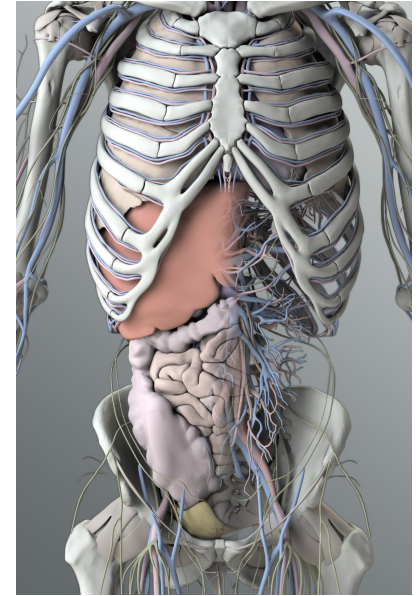
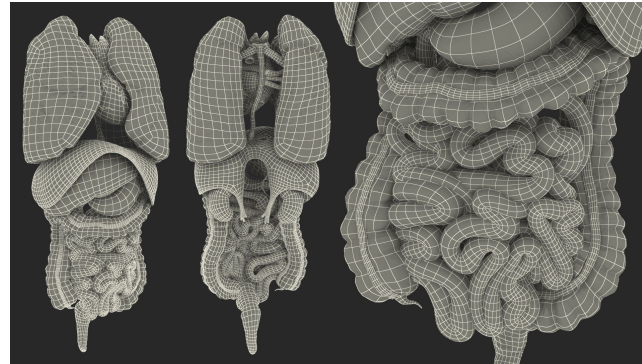
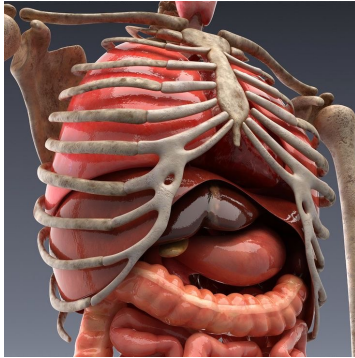
Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Objectif

Modélisation géométrique utilisée pour reproduire l'anatomie

Modèles géométriques issus des données scanner (CT Scan, ...)

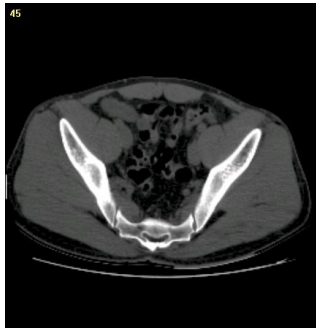
Données peuvent être spécifiques à un patient



Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Etapes pour passer des données du patient au modèle 3D

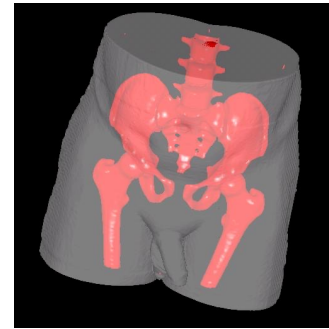
1. Récupération des données du patient
 - scanner, IRM, etc.
2. Segmentation des données par un médecin expert
3. Génération du modèle 3D



Données du patient :
CT images



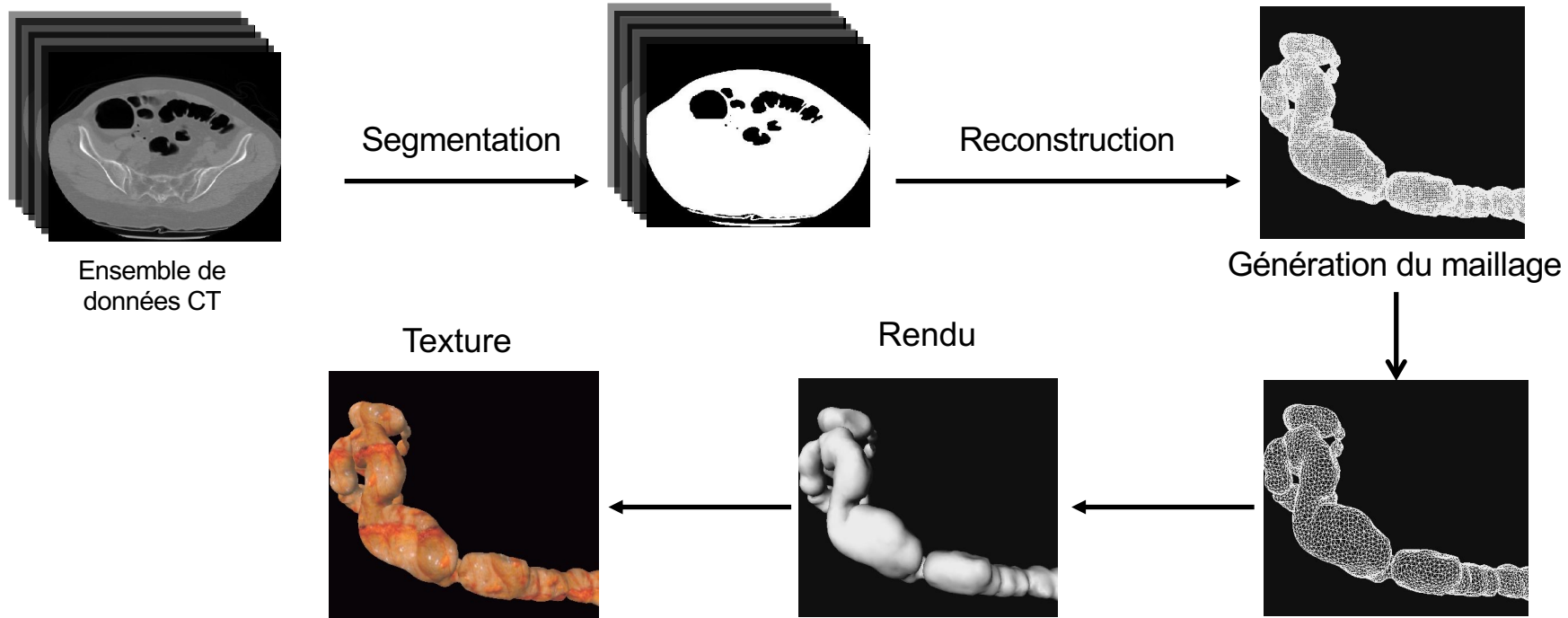
Segmentation



Maillage

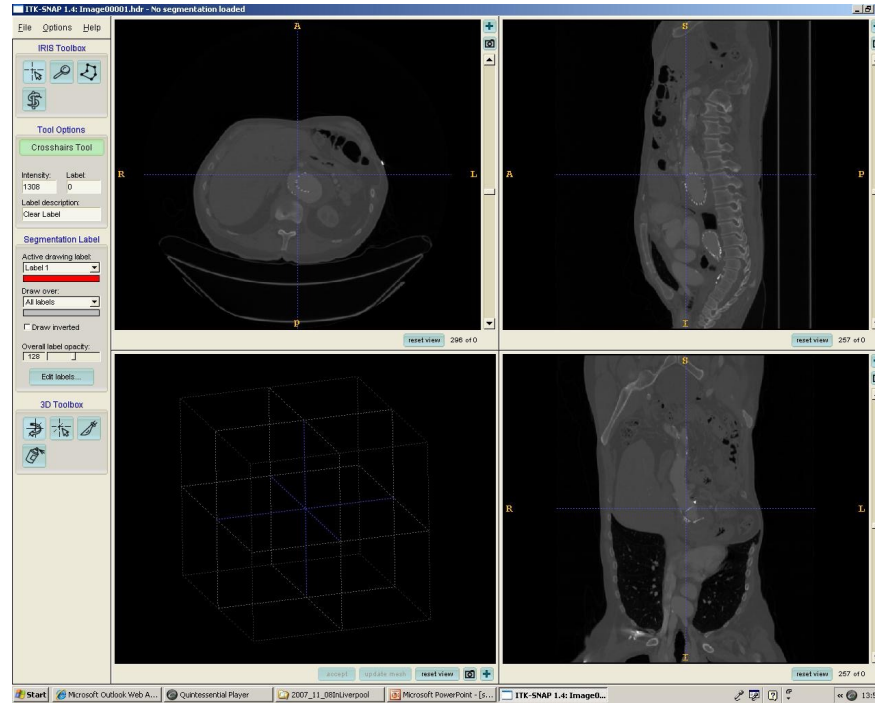
Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Etapes pour passer des données du patient au modèle 3D



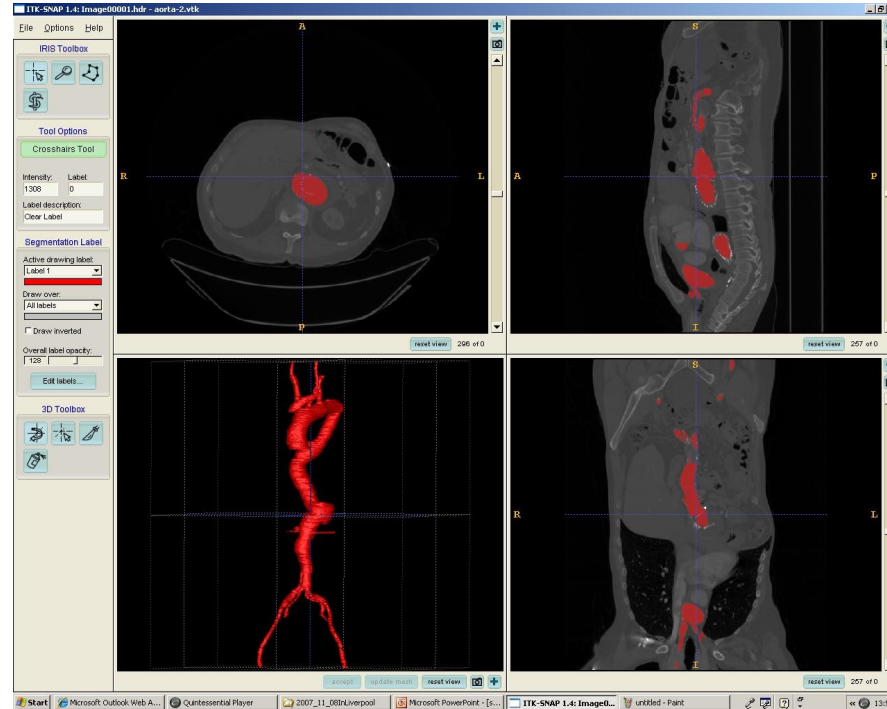
Simulateurs chirurgicaux - Modèles géométriques

1- Récupération des données initiales du patient



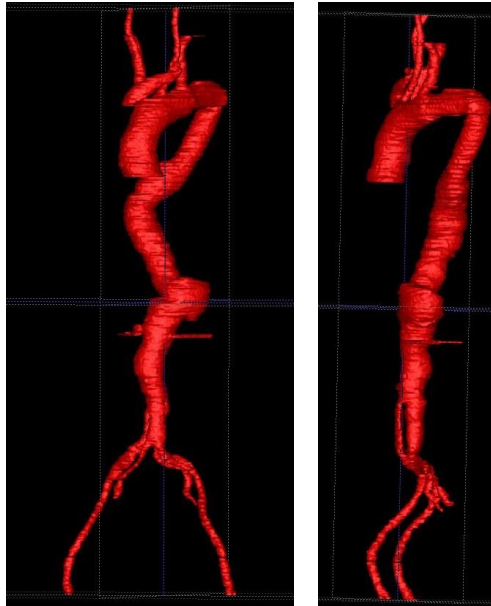
Simulateurs chirurgicaux - Modèles géométriques

2- Segmentation des vaisseaux



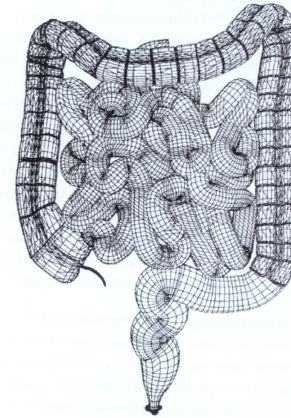
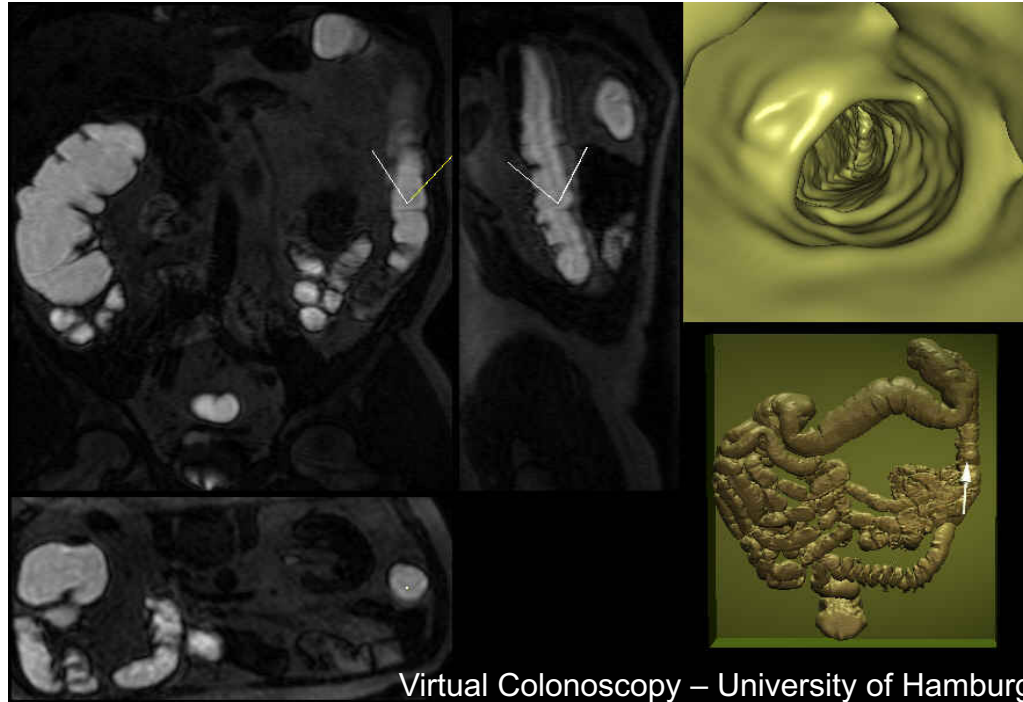
Simulateurs chirurgicaux - Modèles géométriques

3- Obtention de la surface 3D de l'aorte et des artères iliaques

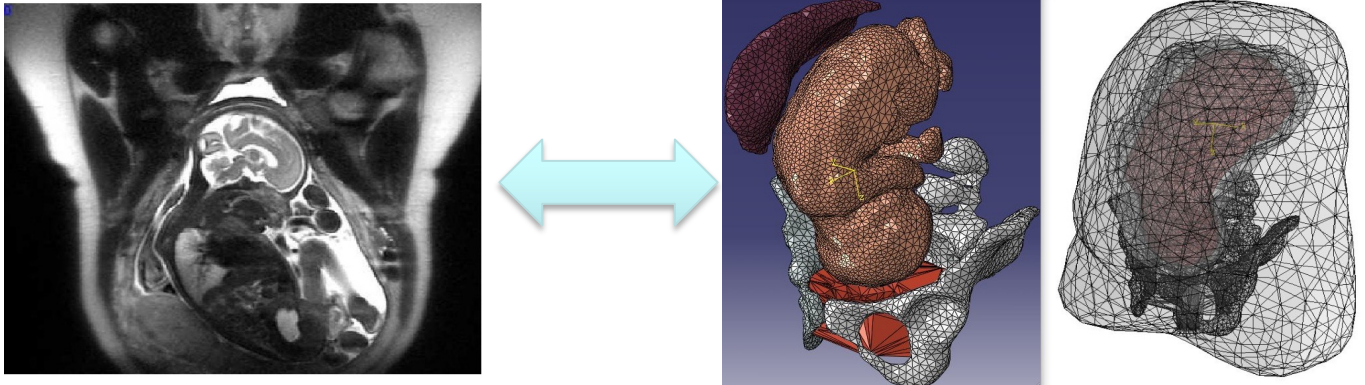


Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Quelques exemples



Modèle sphérique du colon



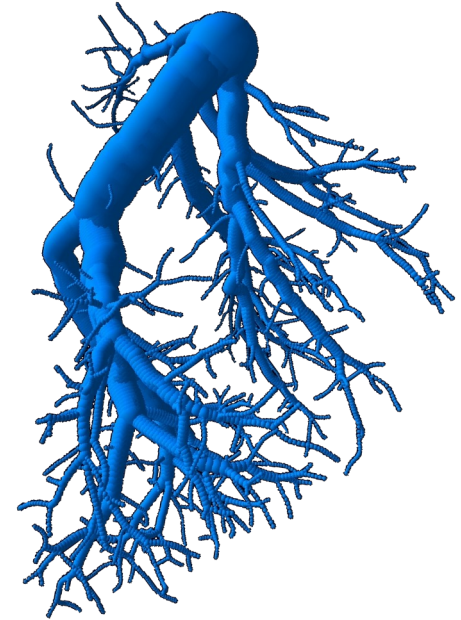
Organes impliqués dans un accouchement

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Projet Merlion – Données issues de l'IRCAD (Strasbourg)
Réseaux vasculaires



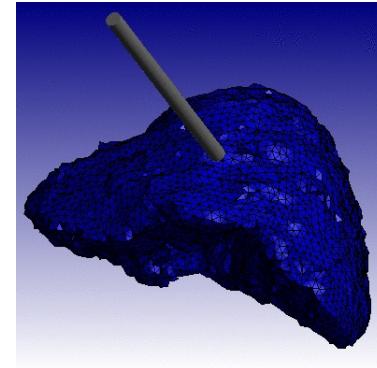
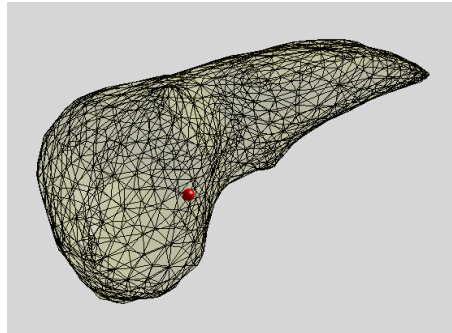
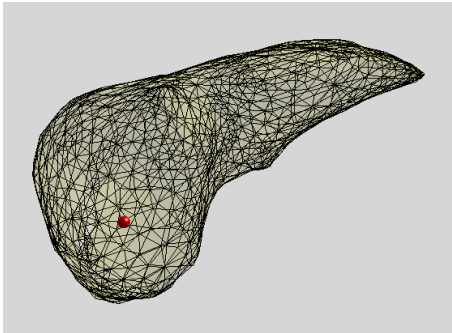
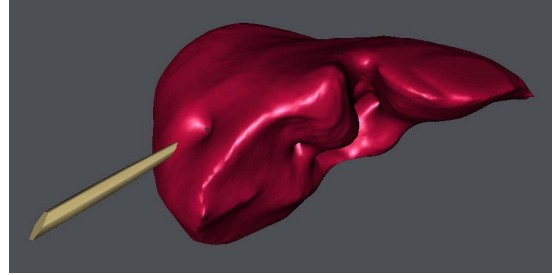
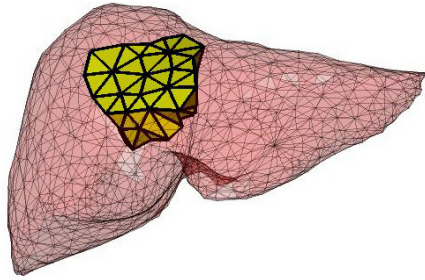
Quelques exemples



Désormais, beaucoup d'automatisation en utilisant l'IA

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques

Objectif : reproduire le comportement des organes en interaction



Interaction : gestion
des collisions

Simulation par modèles physiques - MMC

Loi fondamentale de la dynamique s'écrit sous la forme

$$\operatorname{div}([\sigma]) + f_{\text{ext}} = \rho \ddot{u}$$

ρ masse volumique

f_{ext} forces volumiques appliquées au point

$\operatorname{div}(\sigma)$ les forces surfaciques

Résolution de cette équation (système différentielle du second ordre)
donne **déplacement u** au cours du temps

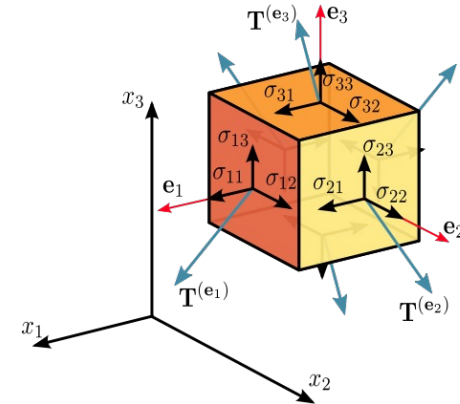
Obtention du mouvement de l'objet au cours du temps

Définit la contrainte en un point à l'intérieur du matériau

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix}$$

avec la traction $T = \sigma n dS$

normale \nearrow surface



Contrainte = intensité de la force appliquée divisée par
l'aire de la surface sur laquelle la force est exercée

⇒ Contrainte = force / surface

Simulation par modèles physiques - MMC

Caractéristiques des objets déformables

Caractéristique d'un objet déformable = **élasticité**

→ objet retourne à sa forme initiale après une déformation

Objet déformable caractérisé par le rapport entre
la **contrainte** (*stress*) et la **déformation** (*strain*)

Simulation par modèles physiques - MMC

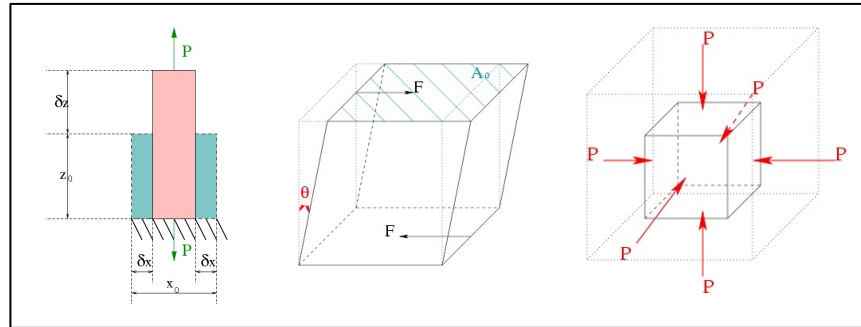
Principaux paramètres d'élasticité qui caractérisent les objets déformables

Différents types de déformation correspondant à différents paramètres

Elongation → module de Young, coefficient de Poisson

Cisaillement → module de cisaillement (Coulomb)

Compression → module de compressibilité (Bulk)



Simulation par modèles physiques - MMC

Déformation de l'objet quantifiée par un **tenseur de déformations**

→ décrit l'état de déformation local résultant de contraintes (efforts internes)

→ matrice des allongements (termes diagonaux)
et des cisaillements (termes non diagonaux) subis par l'objet

$$\varepsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{pmatrix}$$

Simulation par modèles physiques - MMC

Tenseur de déformations de Green-Lagrange

Soit u le déplacement d'un point de l'objet par rapport à sa position d'origine

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\vec{\nabla}u + [\vec{\nabla}u]^T + [\vec{\nabla}u]^T \cdot [\vec{\nabla}u])$$

Tenseur de déformations de Cauchy pour les petites déformations

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\vec{\nabla}u + [\vec{\nabla}u]^T)$$

avec le gradient de u défini par :

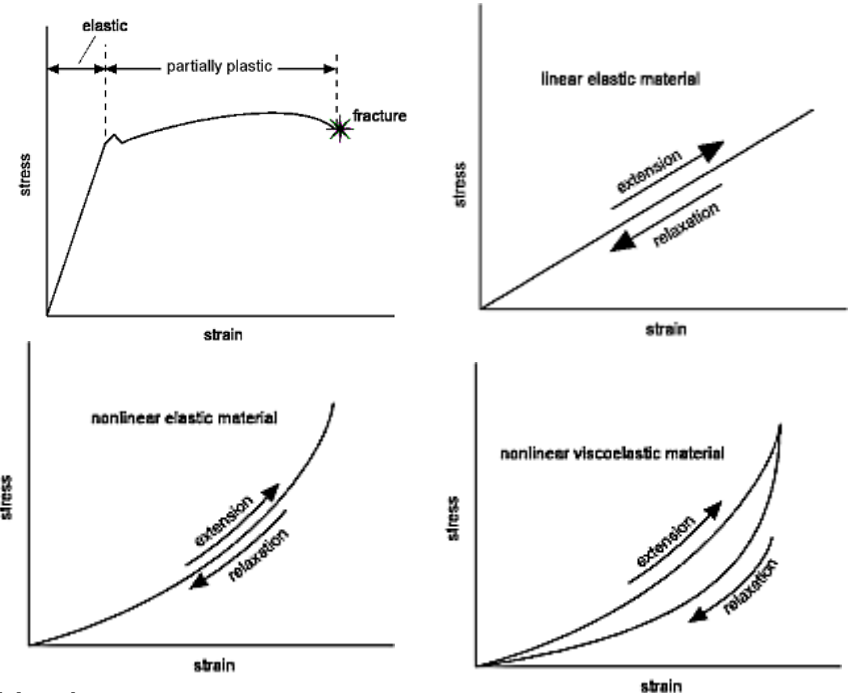
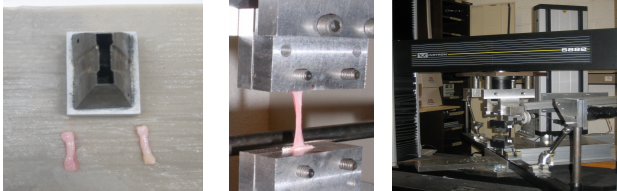
$$\vec{\nabla}u = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} & \frac{\partial u_x}{\partial y} & \frac{\partial u_x}{\partial z} \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} & \frac{\partial u_y}{\partial y} & \frac{\partial u_y}{\partial z} \\ \frac{\partial u_z}{\partial x} & \frac{\partial u_z}{\partial y} & \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{pmatrix}$$

→ tenseur des déformations (ε) est relié au champ de contrainte (σ)
par la **loi de comportement de l'objet** (Hooke, Néo-Hooke, Saint Venant Kirchhoff, Yeoh, etc.)

Simulation par modèles physiques - MMC

Lois de comportement :

- linéaire
- plastique
- non-linéaire
- non-linéaire visco



Exemple - Loi d'élasticité linéaire ou de Hooke :
contrainte (σ) = module de Young (E) x déformation (ϵ)

Simulation par modèles physiques - MMC

Loi de comportement élastique linéaire (petite déformation / isotropique)

– **Loi de Hooke** $[\sigma] = 2\mu[\varepsilon] + \lambda Tr([\varepsilon])[I]$

Avec les coefficients de Lamé $\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$

E : module de Young – rigidité de l'objet (en Pa)

ν : coefficient de Poisson - compressibilité de l'objet (< 0.5)

$$[\sigma] = \frac{E}{(1+\nu)}([\varepsilon] + \frac{\nu}{(1-2\nu)}Tr([\varepsilon])[I])$$

Simulation par modèles physiques - MMC

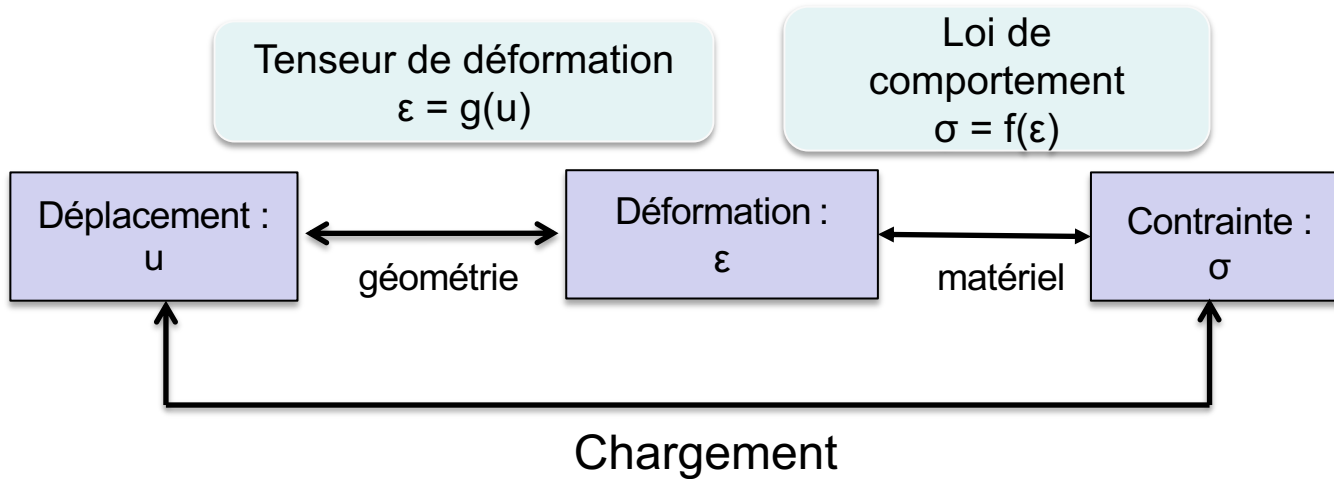
Loi de comportement pour élasticité non-linéaire

- Difficile de trouver la relation entre contrainte et déformation

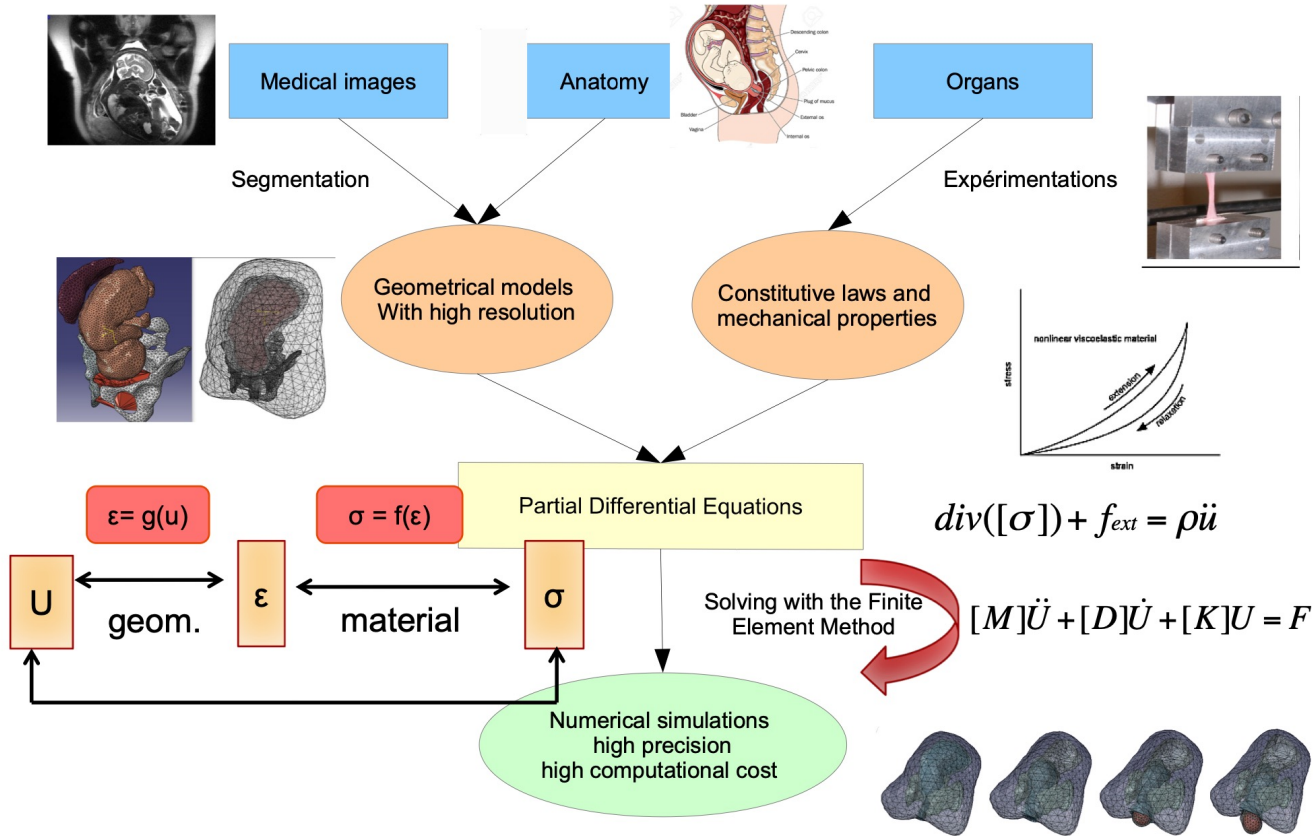
$$\sigma = \frac{\partial W(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \leftarrow \text{Energie de déformation}$$

Simulation par modèles physiques - MMC

Au final, voici les relations de la Mécanique des Milieux Continus :



Simulation par modèles physiques – De l'imagerie médicale à la simulation 3D



Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques

**Intégration de la simulation dans un simulateur d'apprentissage de gestes médicaux
=> simulation doit être en temps réel**

Un certain nombre de simplifications à faire pour arriver au temps réel :

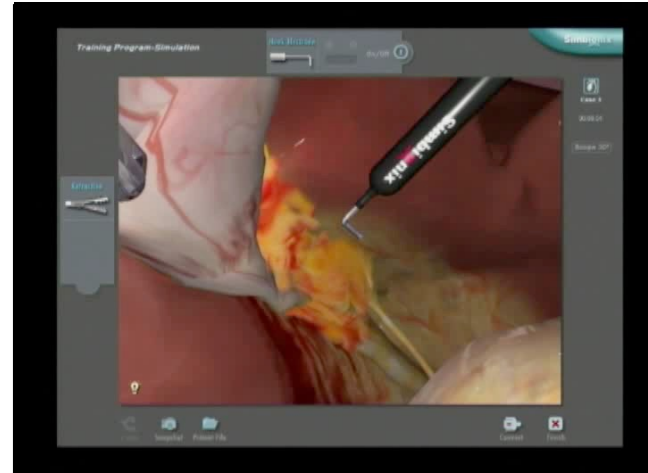
- Simplification des modèles géométriques des organes
- Lois de comportement simples
- Modèles physiques adaptés
- Conditions aux limites
- Modèle de collision
- Parallélisation des algorithmes de simulation

Des exemples de simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux

Simulateurs chirurgicaux – Exemples de simulateurs commerciaux



Lapsim Laparoscopic
Simulator

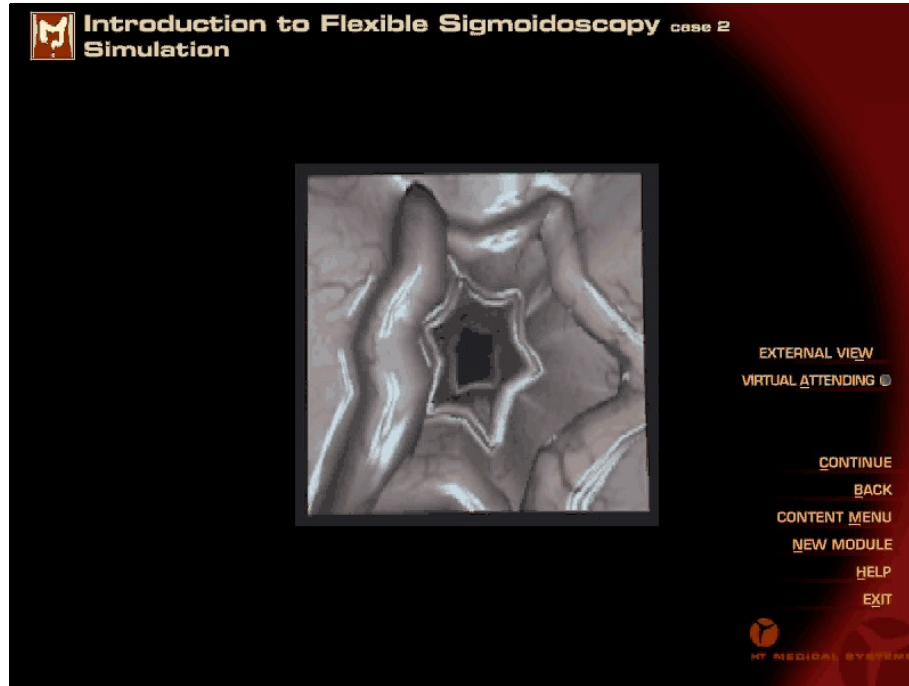


Simbionix Lap Mentor

[LaparoS™ - The most realistic laparoscopy simulator](#)

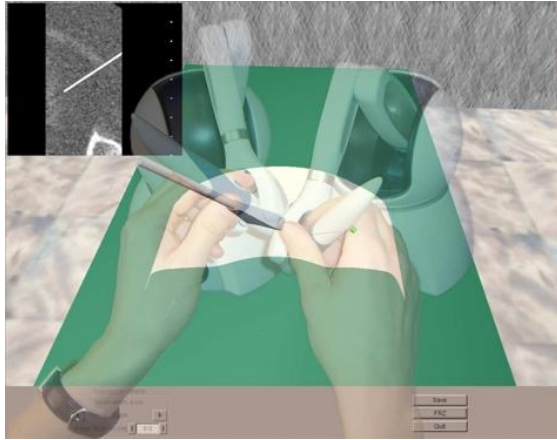
[Simbionix™ LAP Mentor™ Lobectomy](#)

Simulateurs chirurgicaux – Exemples de simulateurs commerciaux



*Immersion Medical
Sigmoidoscopy
Simulator*

Simulateurs médicaux - Interfaces haptiques



Bras Phantom pour la biopsie



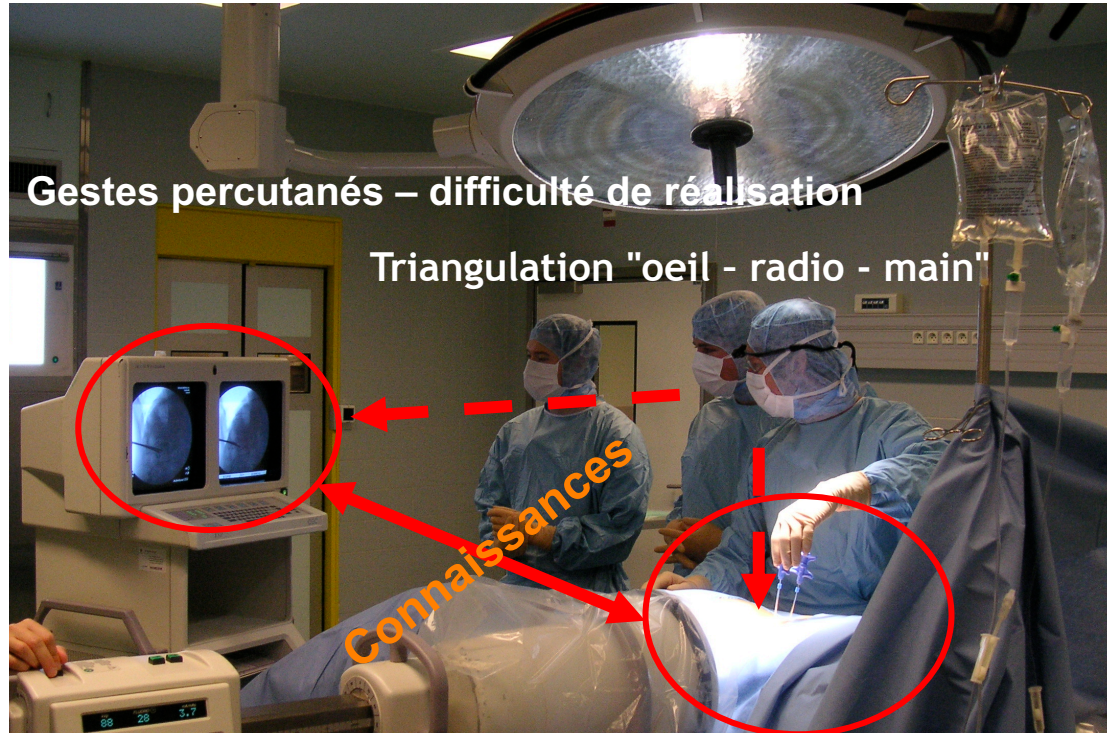
VSP (Voxmap Pointshell)
pour la réalisation d'un
sondage

Simulateurs médicaux - Interfaces haptiques

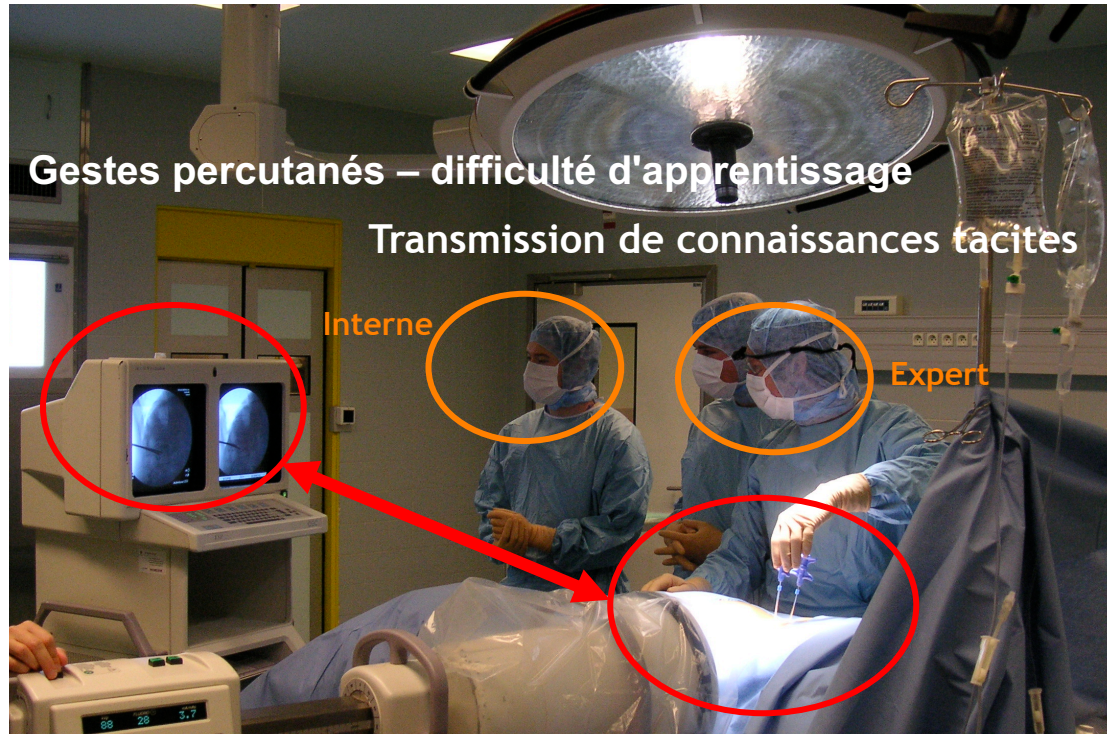
Apprentissage pour la chirurgie dentaire
(DIGISENS)



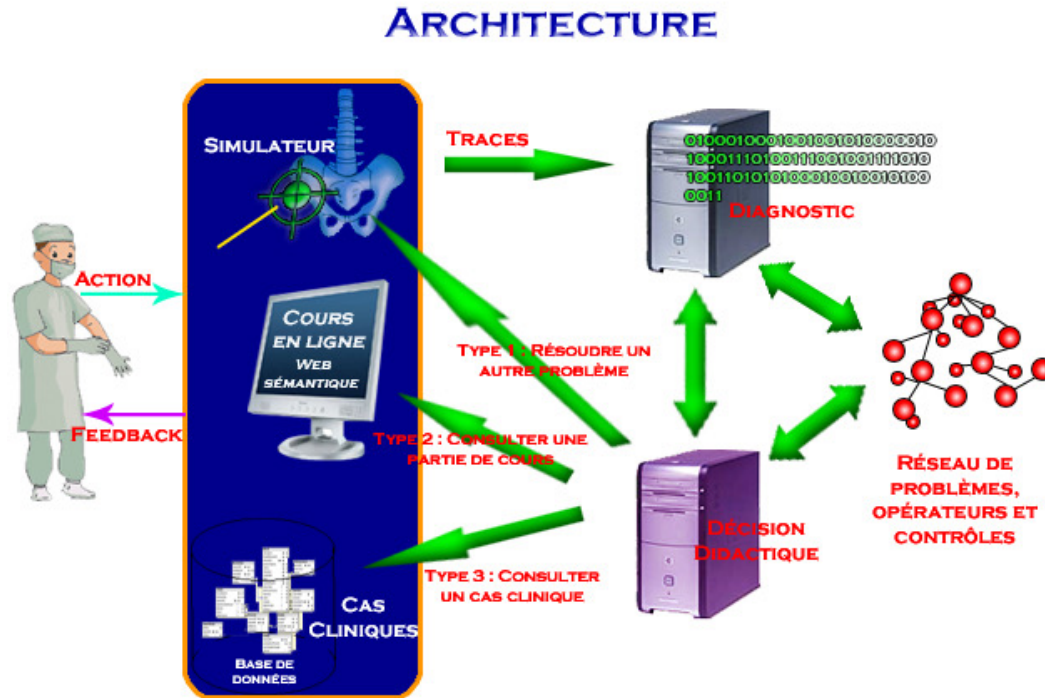
Vissage Sacro-Iliac – Projet TELEOS



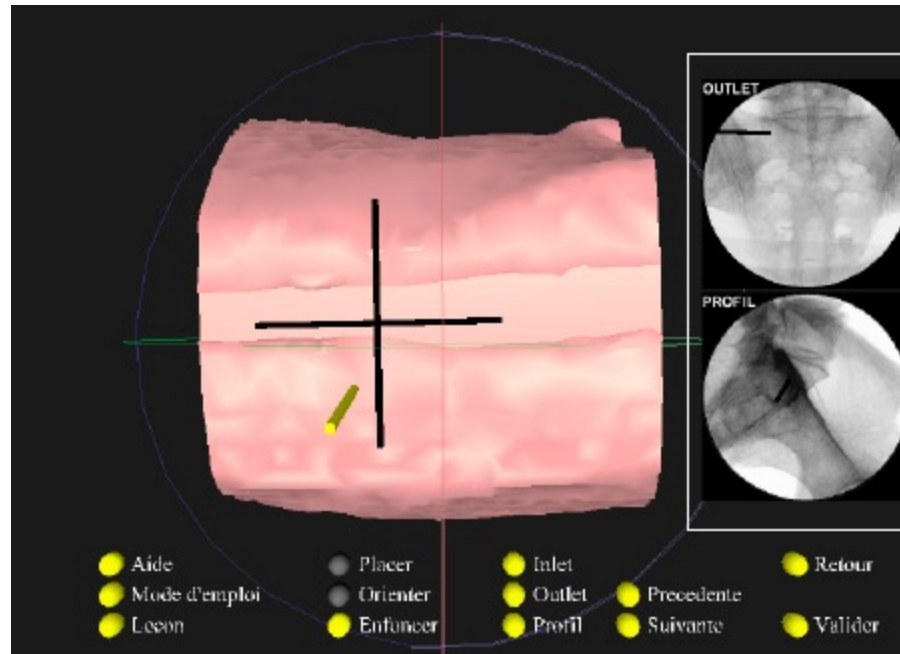
Vissage Sacro-Iliaque – Projet TELEOS



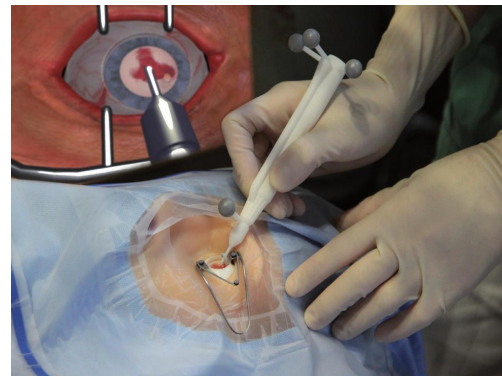
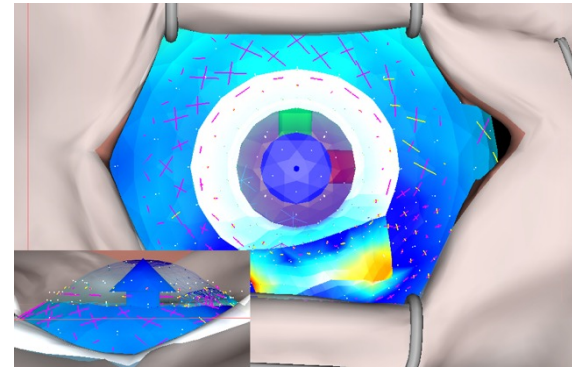
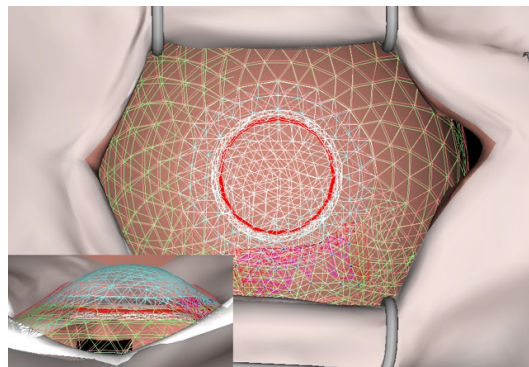
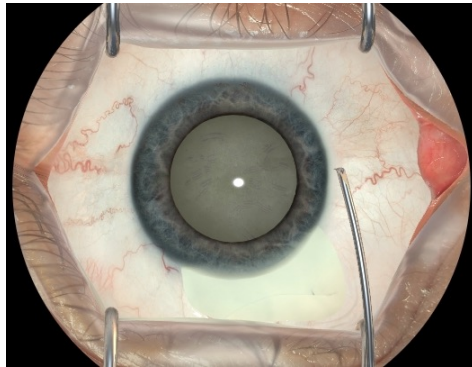
Vissage Sacro-Iliac – Projet TELEOS



Vissage Sacro-Iliaque – Projet TELEOS



Simulateurs de gestes chirurgicaux – Traitement de la cataracte

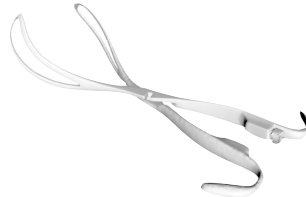
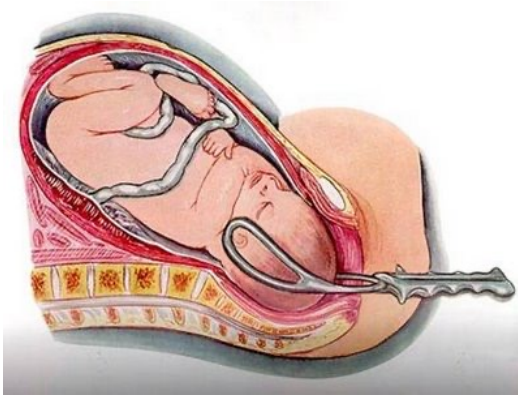


INRIA Lille
HelpMeSee

Vidéo

Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Oser utiliser des forceps pour ne pas recourir à une césarienne

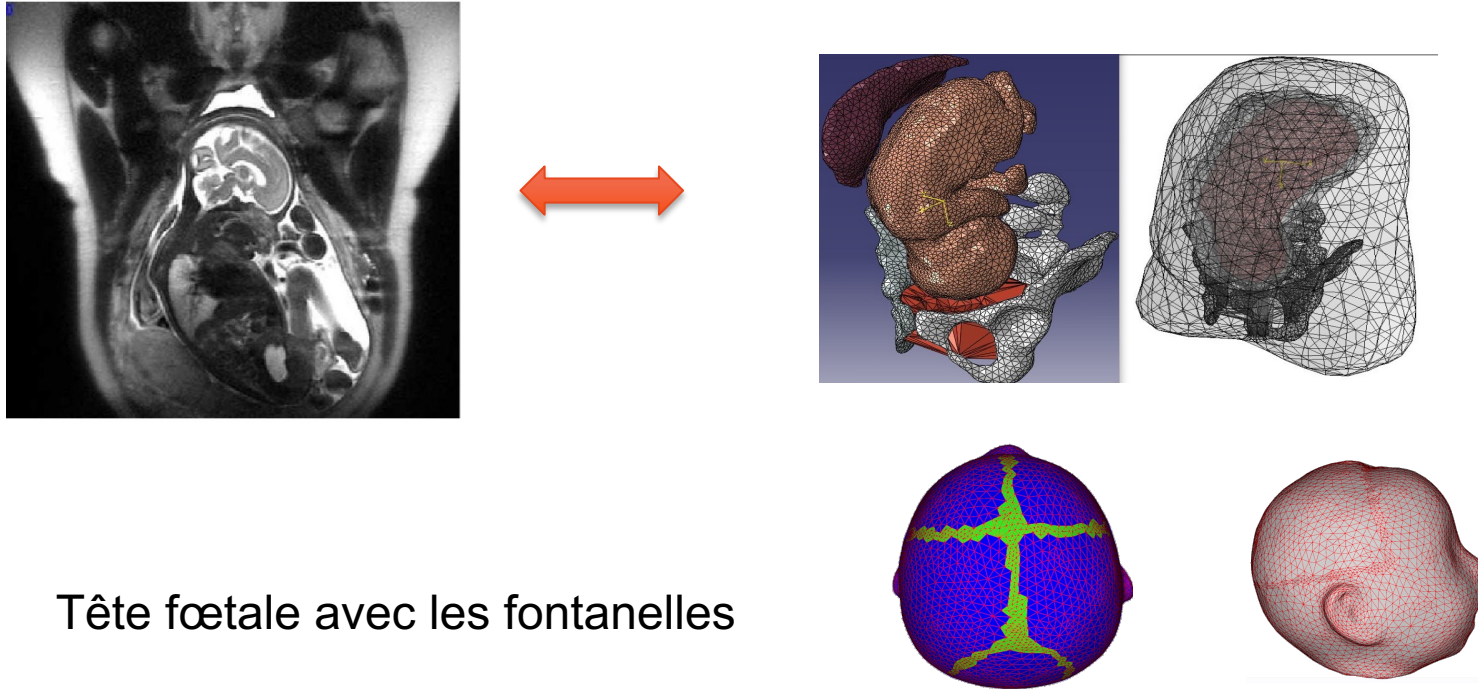


Enjeux du simulateur :

- Reproduire la simulation de la descente du fœtus sans trajectoire imposée
- Reproduire les déformations de la tête fœtale
- Reproduire les sensations tactiles durant le geste d'extraction
- Evaluer le geste réalisé sur le simulateur

Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Modèles géométriques des organes impliqués

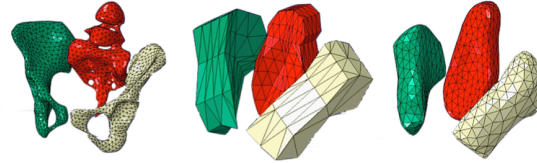


Tête fœtale avec les fontanelles

Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Simplifications pour réduire temps de calculs – modèles géométriques et physiques

- Simplification of the meshes (less nodes)



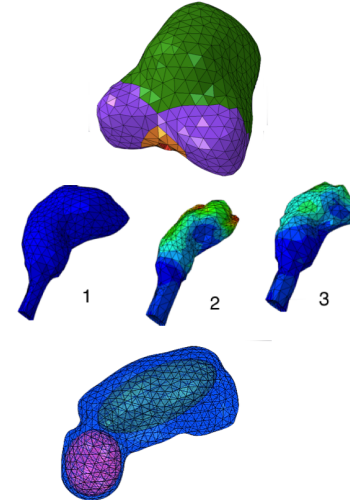
- Simplification of the constitutive law of organs

- **Pelvis:** Hooke - $E = 23 \text{ Mpa}$, $\nu = 0.3$, $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$

- **Abdomen:** Néo-Hooke - $C10 = 5\text{kPa}$, $\rho = 2\,500 \text{ kg/m}^3$

- **Uterus:** Néo-Hooke - $C10 = 30\text{kPa}$, $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$

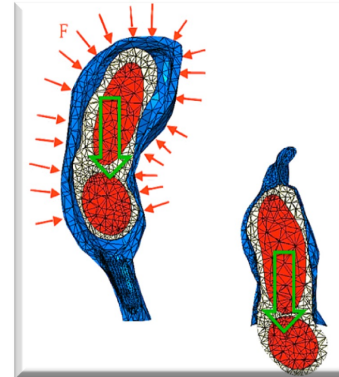
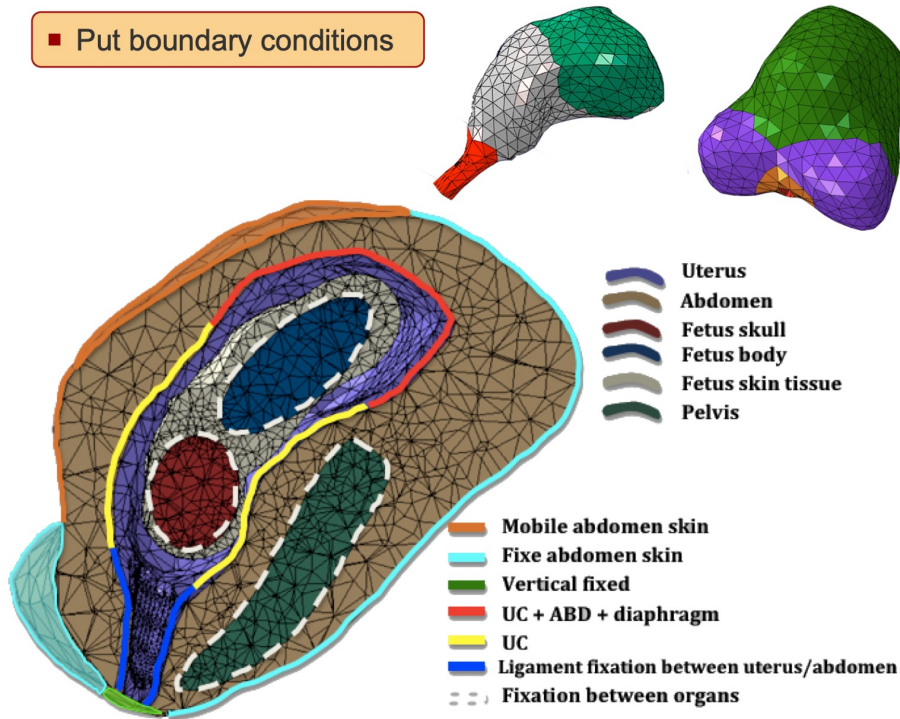
- **Fetus:** Néo-Hooke
 - Skin: $C10 = 130 \text{ kPa}$, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$
 - Skull: $C10 = 75 \text{ kPa}$, $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$
 - Body: $C10 = 70 \text{ kPa}$, $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$



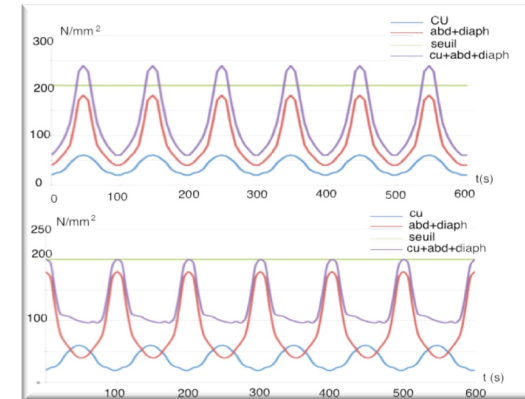
Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction foetus

Conditions aux limites

■ Put boundary conditions

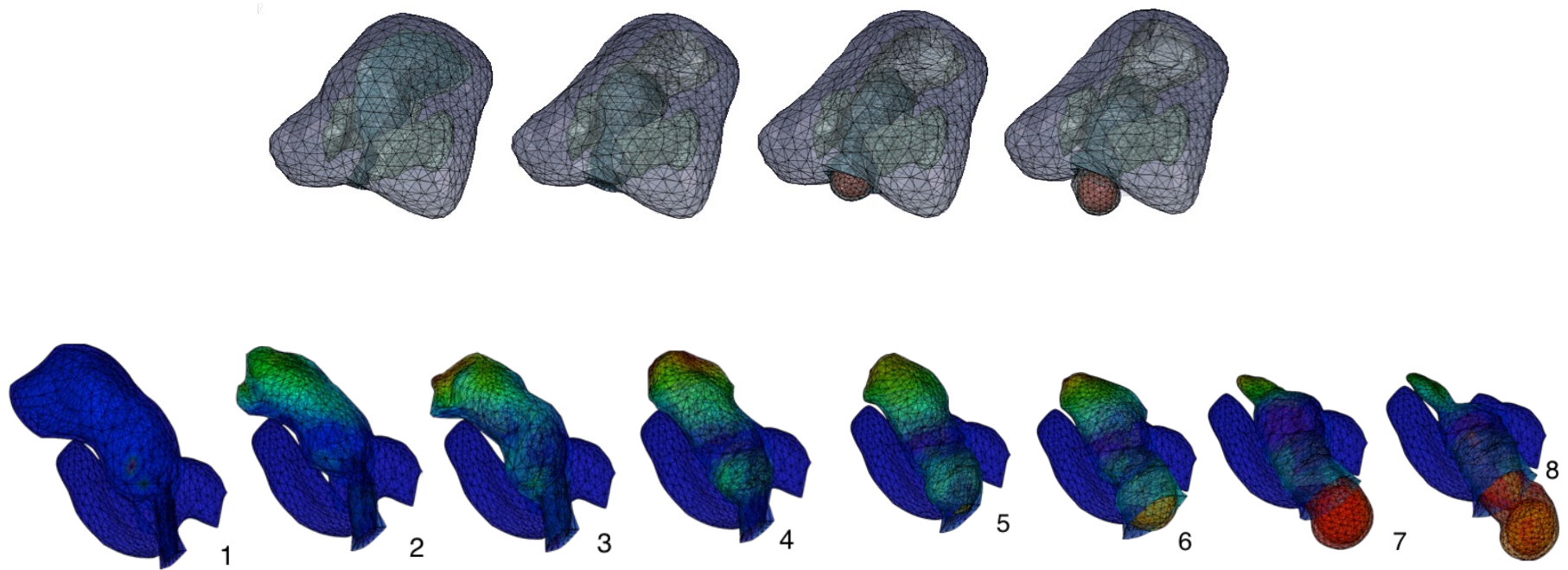


Contractions utérines



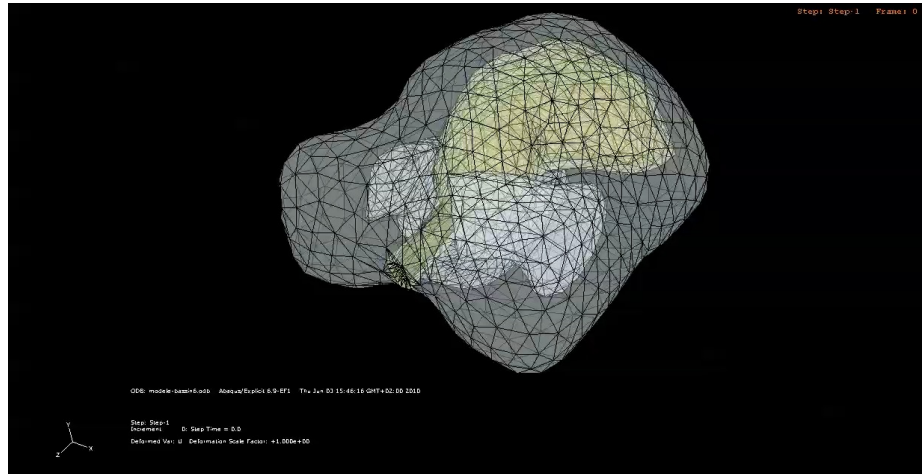
Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Résultats de la simulation

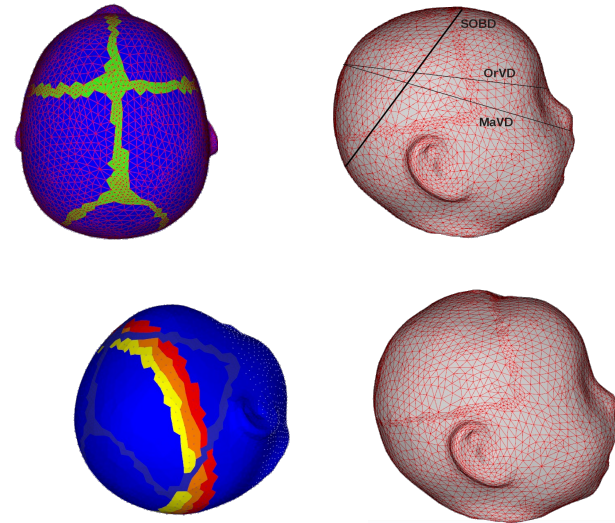


Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

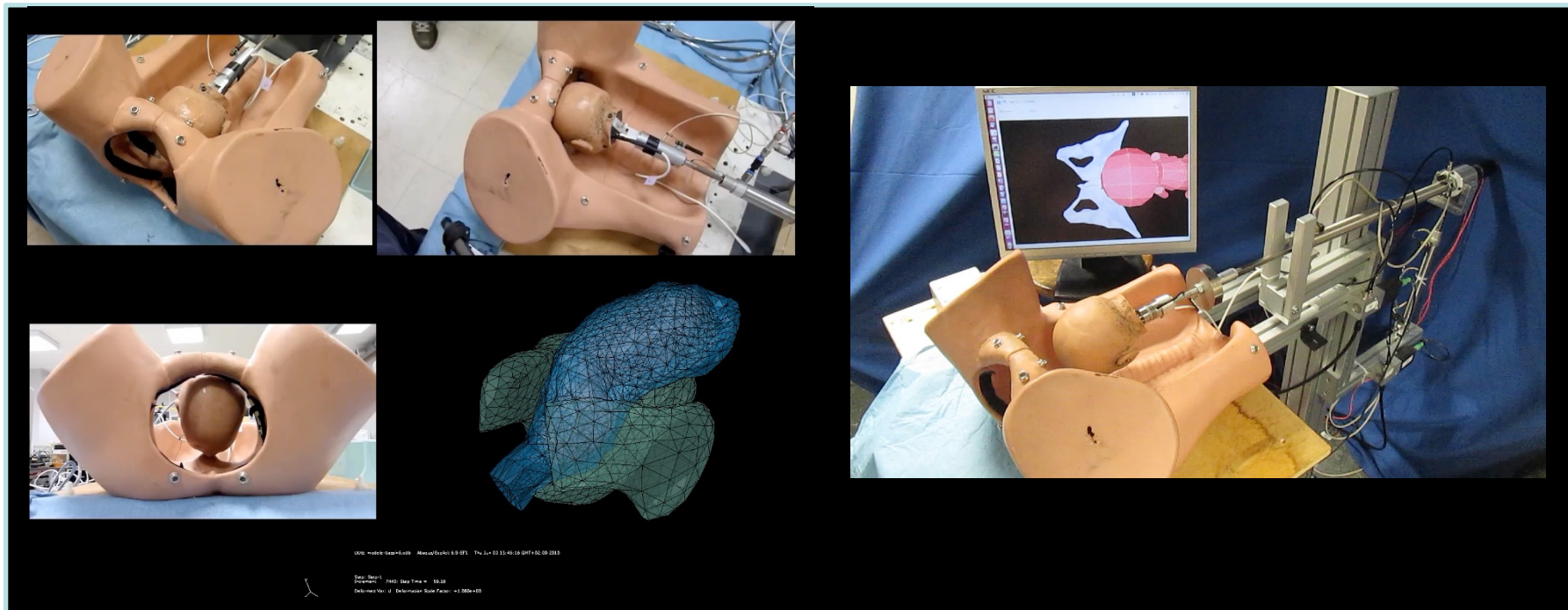
Simulation de la descente du fœtus sans trajectoire imposée



Déformation de la tête foetale due aux pressions intra-utérines et forceps



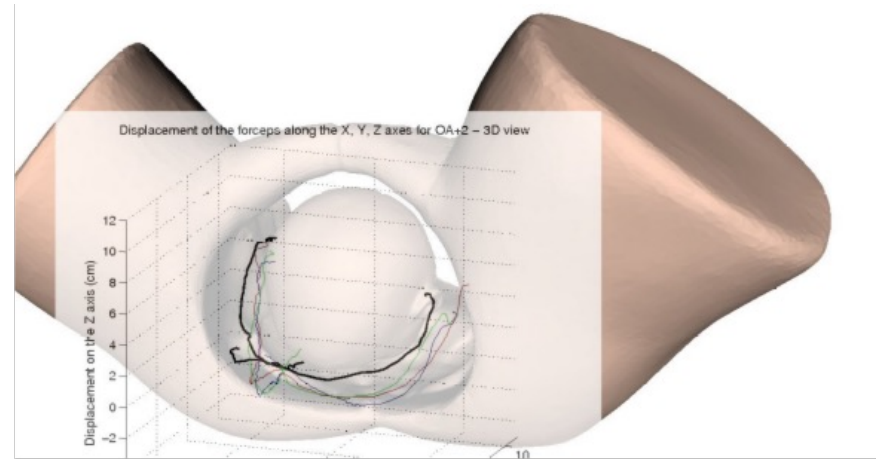
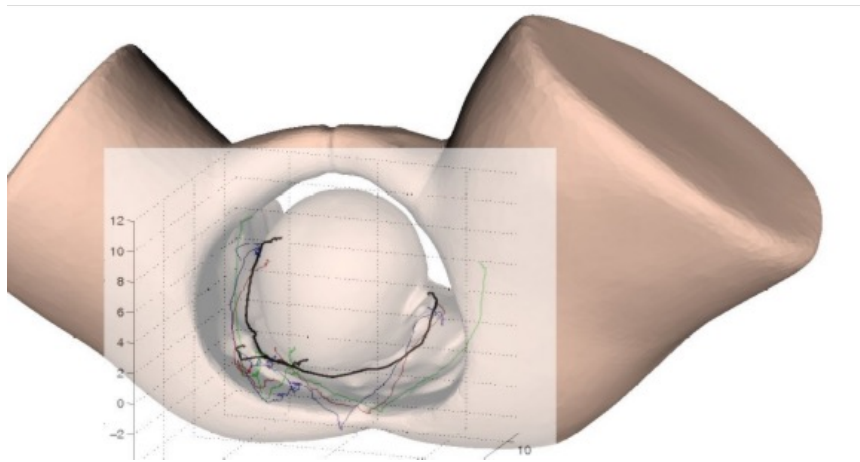
Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus



Couplage : simulation numérique & dispositif haptique

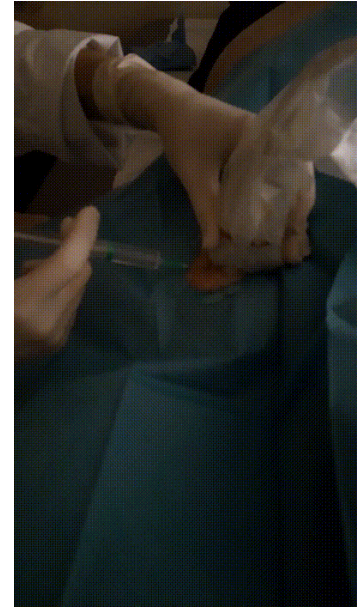
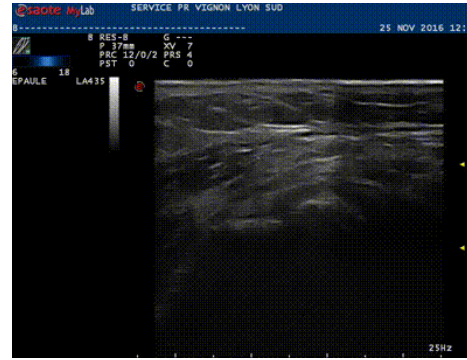
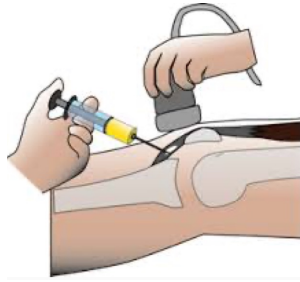
Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Evaluation du geste grâce aux traces de l'utilisateur



Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

Difficulté de l'apprentissage d'un geste bi-manuelle

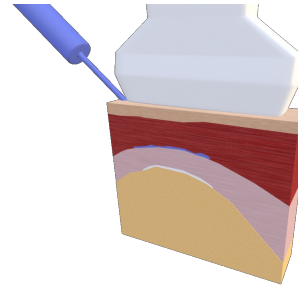


Enjeux du simulateur :

- Reproduire le comportement de l'aiguille (pénétration dans les organes)
- Reproduire le comportement de la sonde et de son rendu
- Reproduire les sensations tactiles durant le geste de ponction
- Evaluer le geste

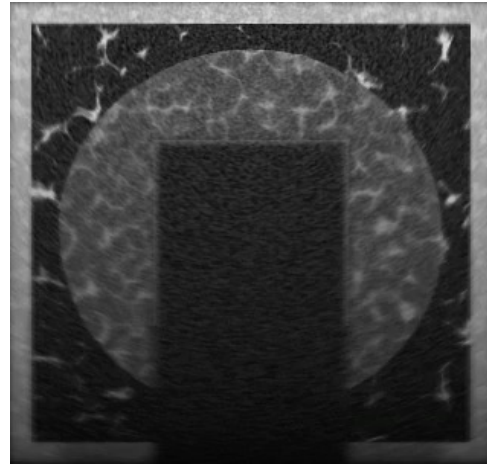
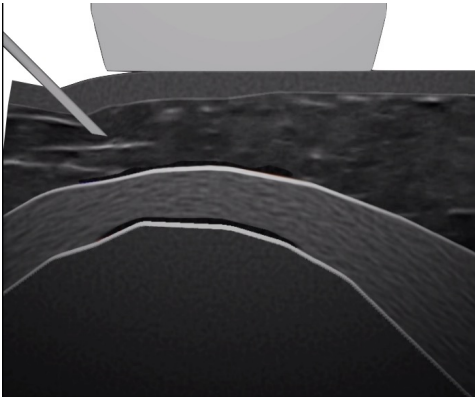
Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

Modèles 3D



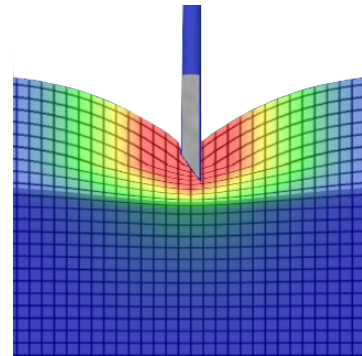
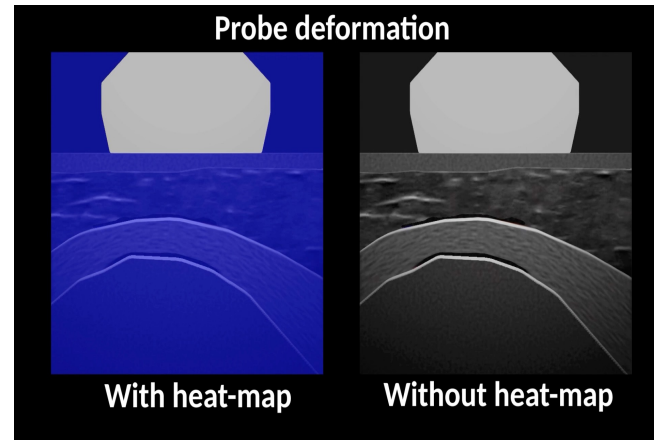
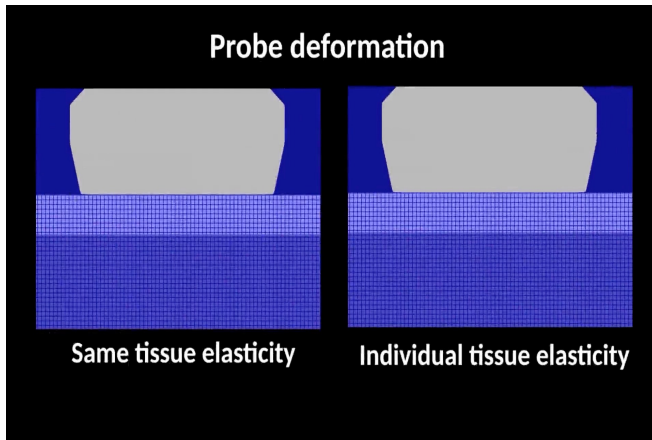
Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

Rendu de type échographie

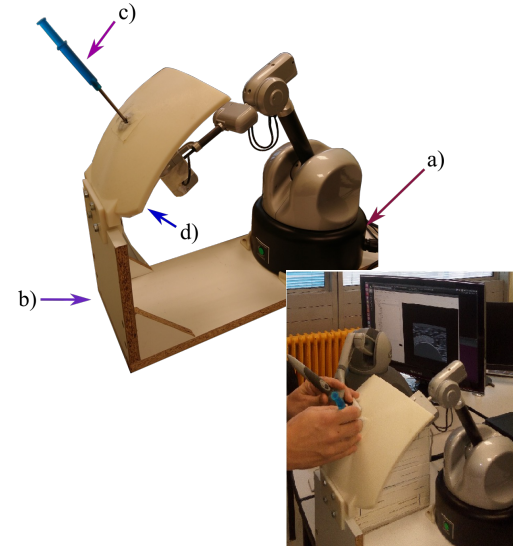
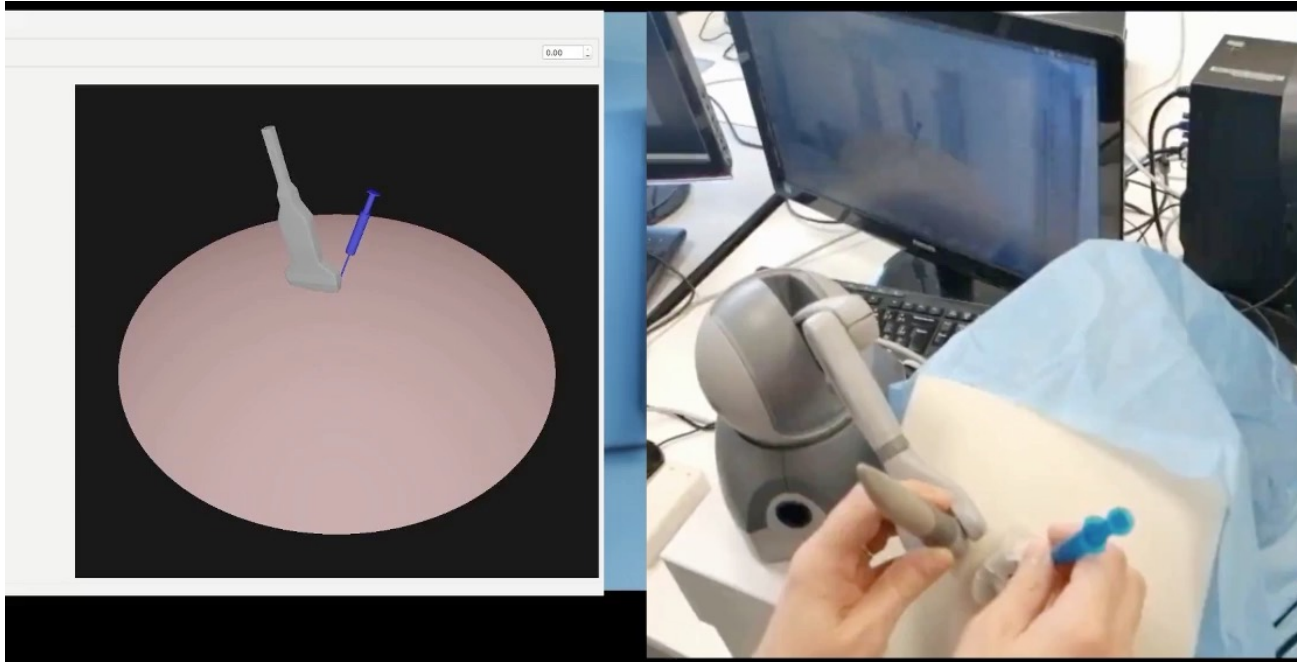


Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

Déformation : aiguille et sonde



Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

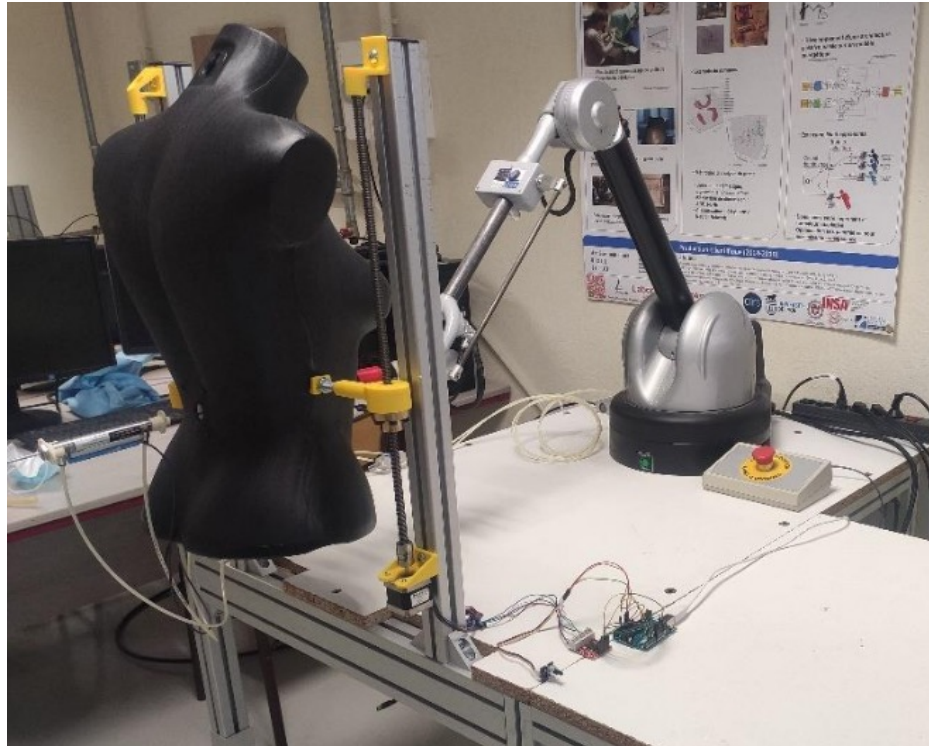


Couplage : simulation numérique & dispositif haptique

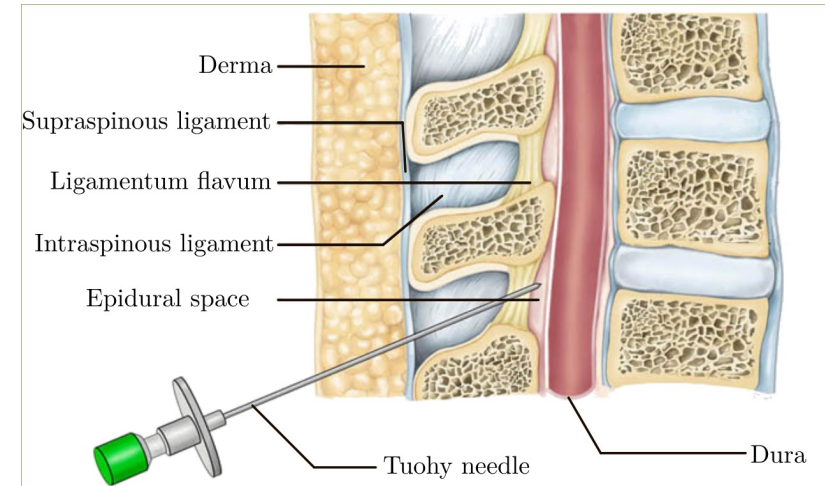
Simulateurs de gestes chirurgicaux – SOFA et InfinyTech3D



Simulateur pour l'insertion d'aiguille dans le cadre de l'anesthésie par péridurale



Système haptique

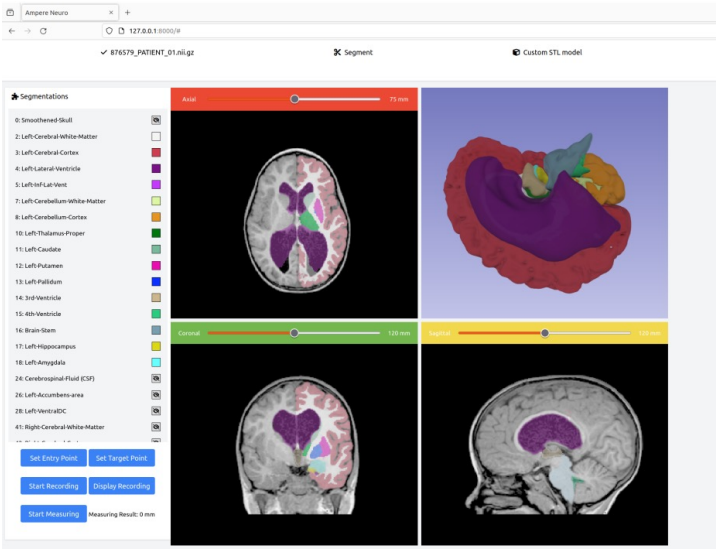
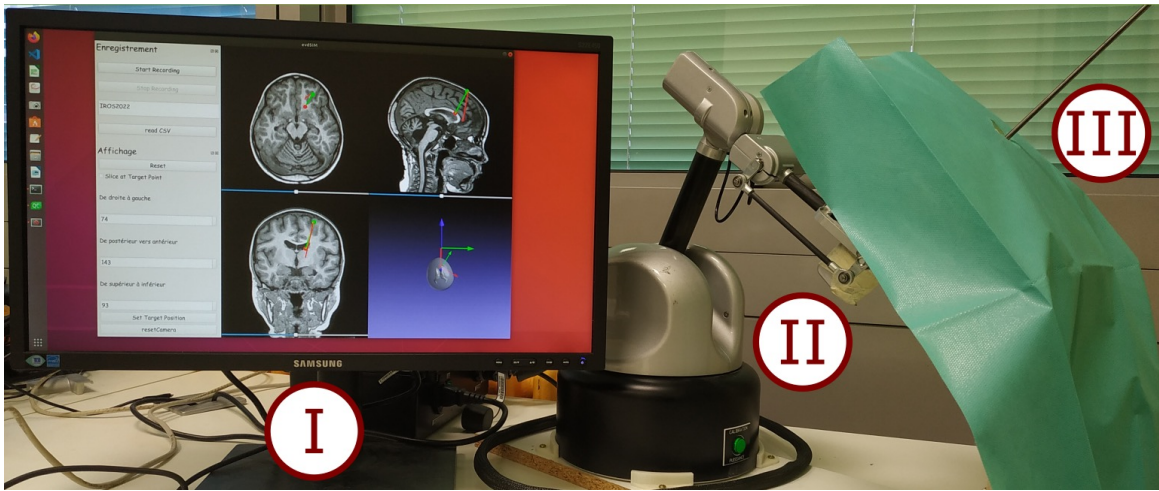


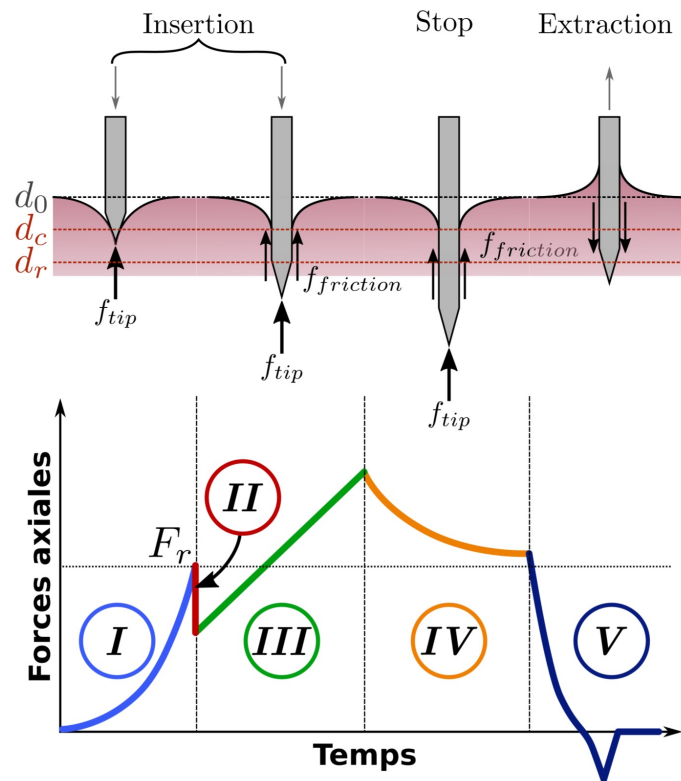
Simulateur pour l'insertion d'aiguille – Système haptique



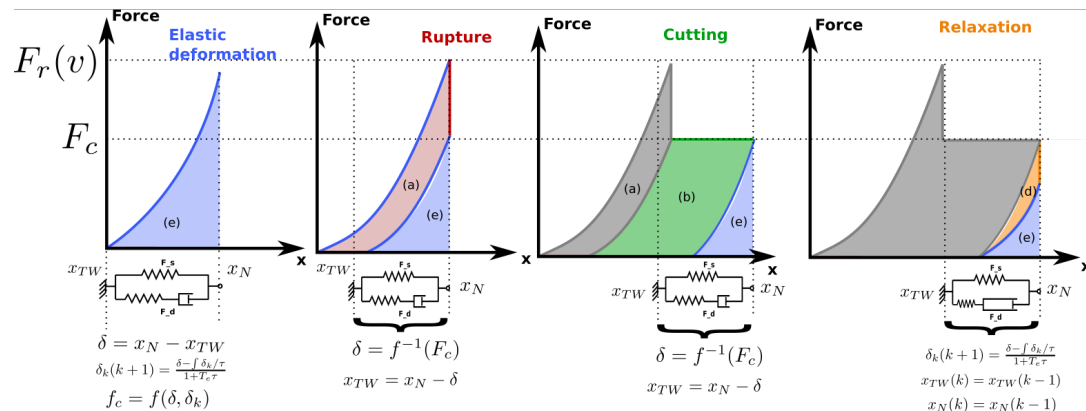
Simulateur pour l'insertion d'aiguille en neurochirurgie

Système haptique





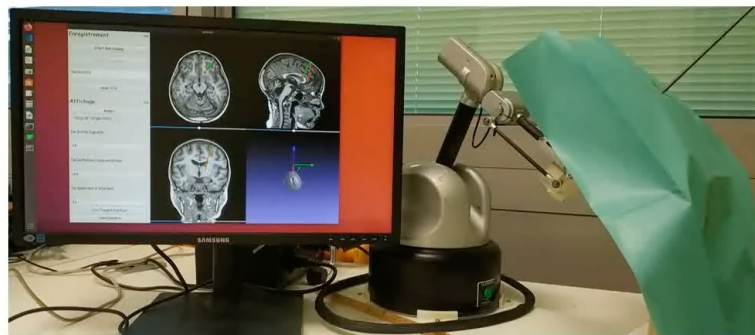
Différentes étapes de l'insertion d'aiguille





Design of a multimodal haptic simulator for ventriculostomy

Benjamin Delbos, Federico Di Rocco, Rémi Chalard
Richard Moreau, Arnaud Lelevé

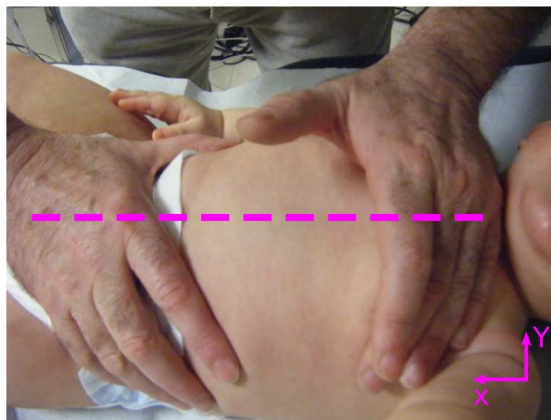


Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire

Travaux de Luc Maréchal, Christine Barthod



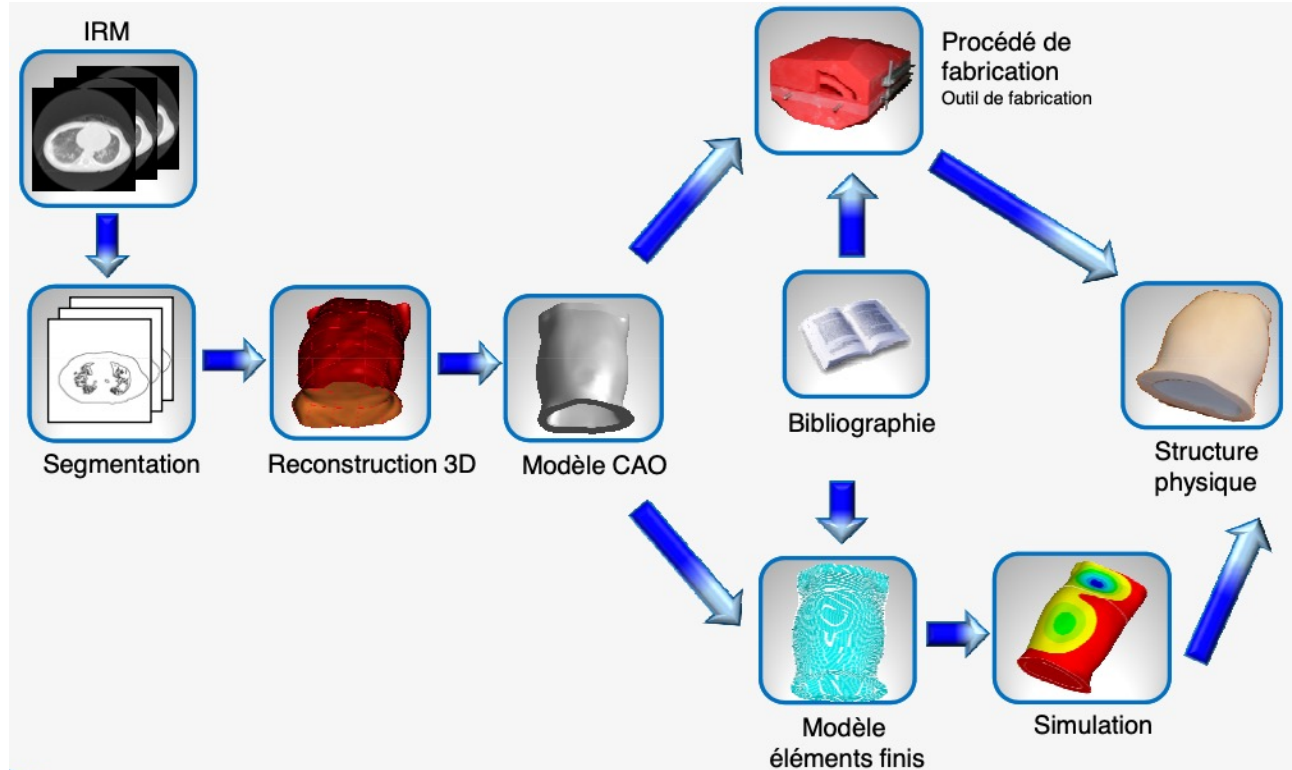
L'AFE (Augmentation du Flux Expiratoire) est une technique française de drainage bronchique, appliquée dans le cadre d'une prise en charge de type kiné respiratoire



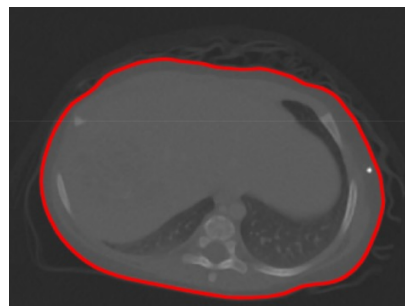
[Présentation initiale des travaux](#)

Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire

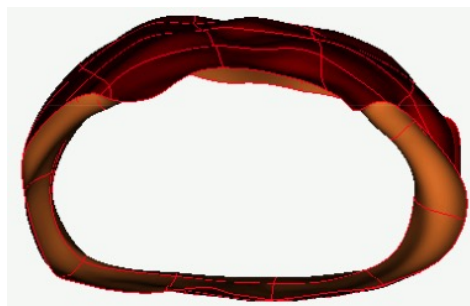
Objectif : Réalisation d'un torse physique de nourrisson ayant un comportement mécanique globalement réaliste sous le geste de l'AFE



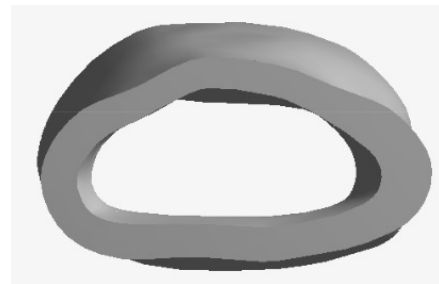
Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire



IRM nourrisson de 6 mois



Modèle géométrique (NURBS)



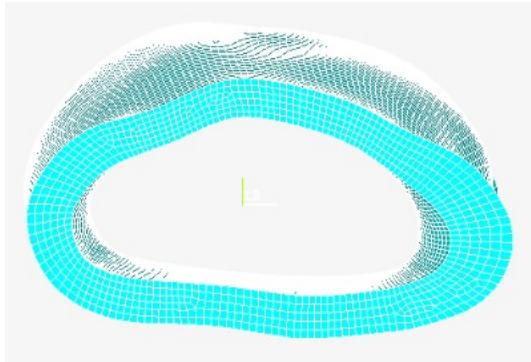
Modèle CAO



Conception en
prototypage
rapide

Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire

Simulation numérique (ANSYS)



Modèle éléments finis
(maillage 3D
hexaédriques)

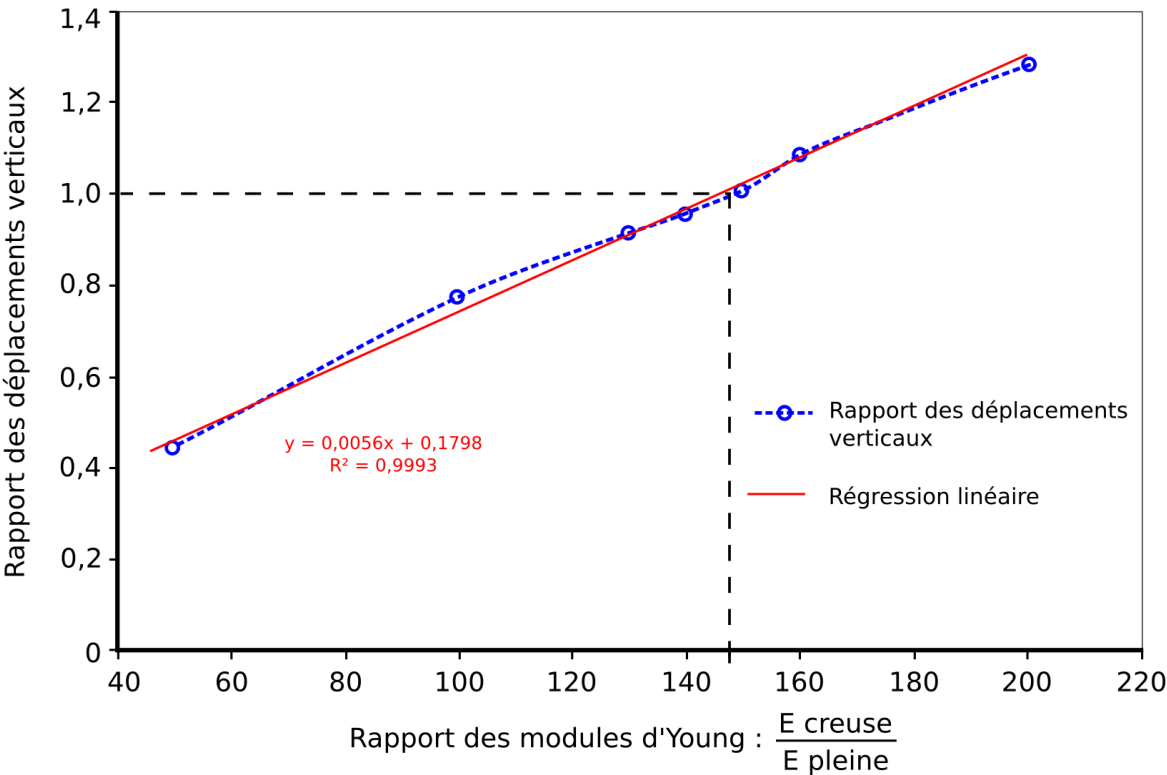
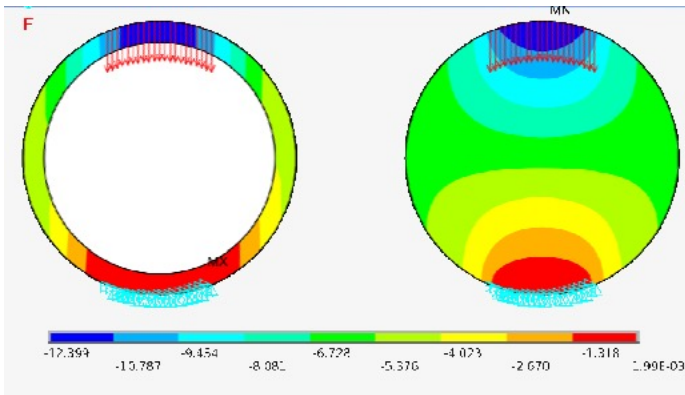
- **Thorax**
Compliance thoracique de nourrisson (littérature)
Comportement linéaire, élastique, isotrope
$$E = \frac{3(1 - 2\nu)V_i}{C}$$
 - Élastomère
- **Abdomen**
Peu de données dans la littérature
Système déformable incompressible
 - Élastomère
- **Diaphragme**
Fonction de transfert mécanique des pressions
entre thorax et abdomen
 - Polyéthylène

Paramètre	Valeur
C	30 – 45 mL.kPa-1
ν	0,3
V_i	200 mL
E	6 - 8 kPa

Paramètre	Valeur
E	Ethorax
ν	0,49

Paramètre	Valeur
E	500 MPa
ν	0,4

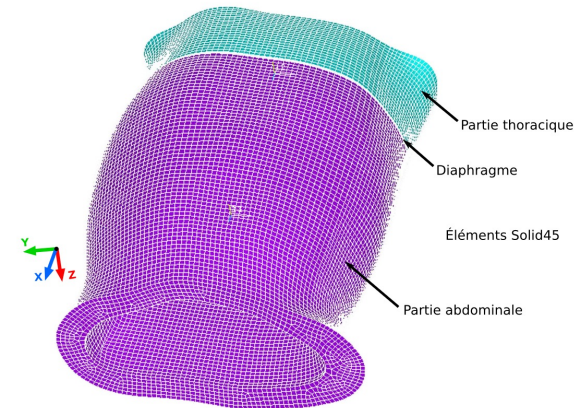
Comparaison des sections creuses et pleines sous charge verticale



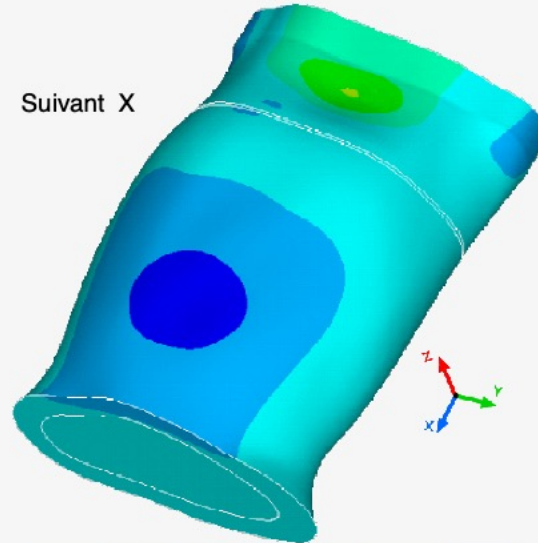
Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire



■ Résultats en déplacements



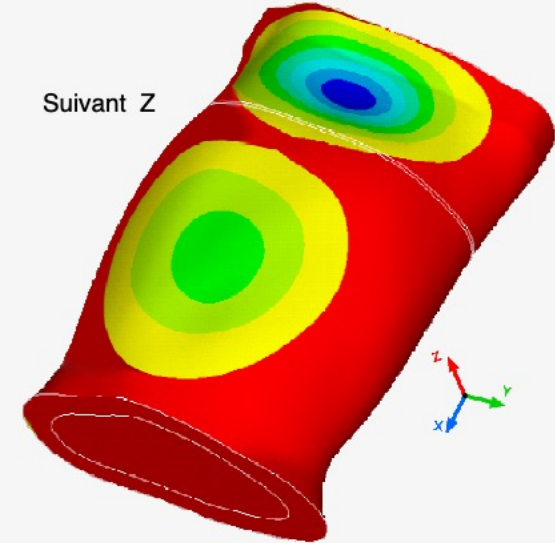
Suivant X



Rapport des déplacements verticaux maxi

$\frac{Z_{th}}{Z_{ab}}$	Simulation	Campagne de mesure
$\frac{Z_{th}}{Z_{ab}}$	1,2	1,8

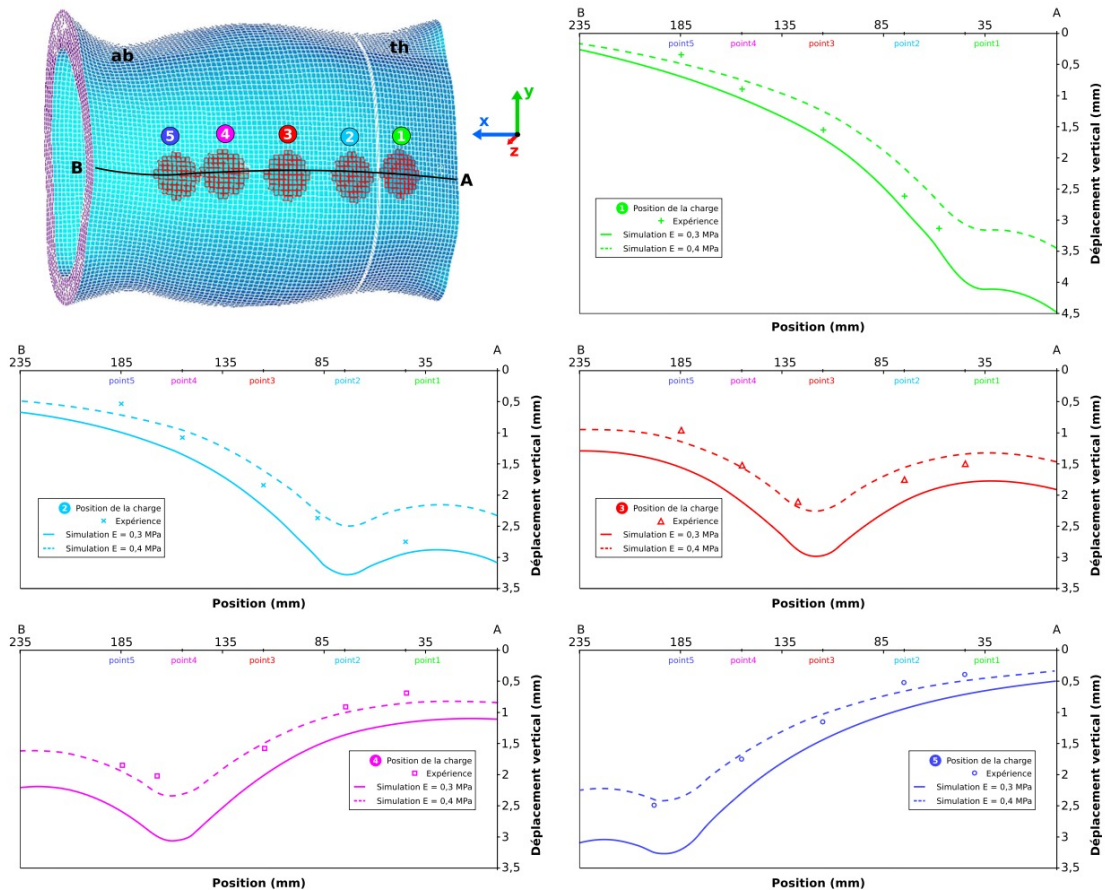
Suivant Z



Rapport des déplacements verticaux maxi

$\frac{Z_{th}}{Z_{ab}}$	Simulation	Campagne de mesure
$\frac{Z_{th}}{Z_{ab}}$	2,9	3,0

Comparaison de la simulation numérique avec le modèle physique



Pour conclure sur le développement de simulateurs
d'apprentissage de gestes médicaux

C'est un long processus de développement...

... pour obtenir un simulateur améliorant l'apprentissage des gestes

Première validation :

Simulation & haptique

Reproduction des sensations réelles : validation par un médecin expert

Seconde validation :

Intégration des scénarii pertinents pour l'apprentissage du geste médical

Le simulateur doit pouvoir reproduire ces scénarii

Gestion de situations usuelles & rares : morphologies, pathologies, geste à réaliser

Troisième validation :

Campagne de tests avec des praticiens pour évaluer l'apport du simulateur pour l'apprentissage

Pour l'apprentissage du geste, **il ne faut pas que reproduire le geste mais se l'approprier**

Outil (action) → Instrument (**perception de pourquoi le geste est effectué**)

Evaluation de cet apprentissage en comparaison avec un apprentissage standard

« Bon sur simulateur » équivalent à « bon chirurgien » ?

Un bilan sur la conception de simulateurs basés RV pour l'apprentissage geste médical

Collaboration multidisciplinaire indispensable pour réaliser de tels simulateurs

Travail avec le corps médical tout au long de la conception

Difficultés et limites :

Simulateur doit permettre de reproduire et apprendre le vrai geste

Validation complexe (simulation & haptique)

Intérêts escomptés :

Accélération de l'apprentissage

Amélioration des connaissances au niveau physiologique

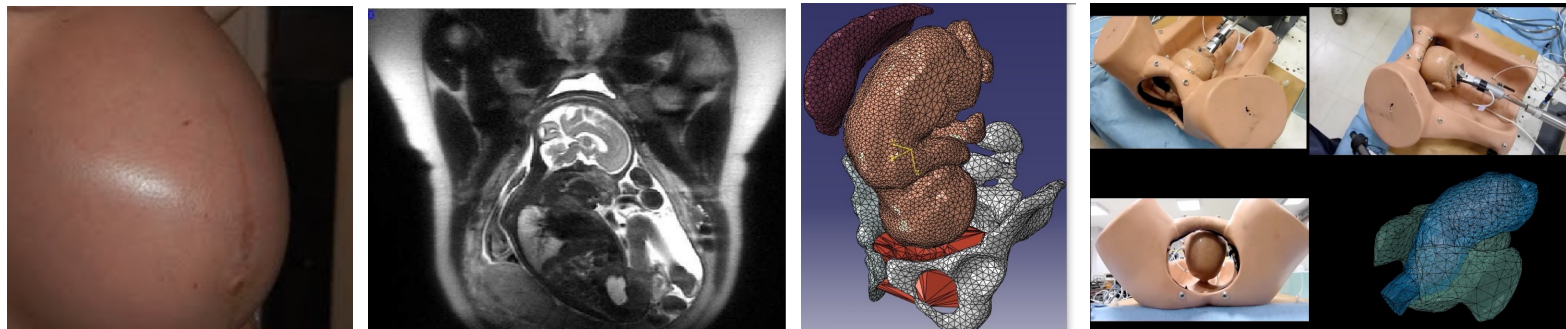
Mise en place de nouvelles méthodes d'évaluation du geste

Mise en place de nouvelles techniques / nouveaux gestes

Et nous pouvons aller plus loin...
... vers des simulateurs dits « patient-spécifique »

Encore plus de verrous scientifiques et techniques à lever pour la simulation :

- Récupérer les **données** directement **auprès du patient** (IRM, paramètres biomécaniques)
- Nécessiter d'**automatiser** tout le pipeline permettant de **générer les modèles 3D**
- Nécessiter d'avoir des **simulations plus précises**
- Avec une **validation robuste!**



Apport de la Réalité Virtuelle / Informatique Graphique dans le monde médical

Autre exemple d'applications

Simulation de l'appareil respiratoire pour améliorer le traitement cancer par hadronthérapie

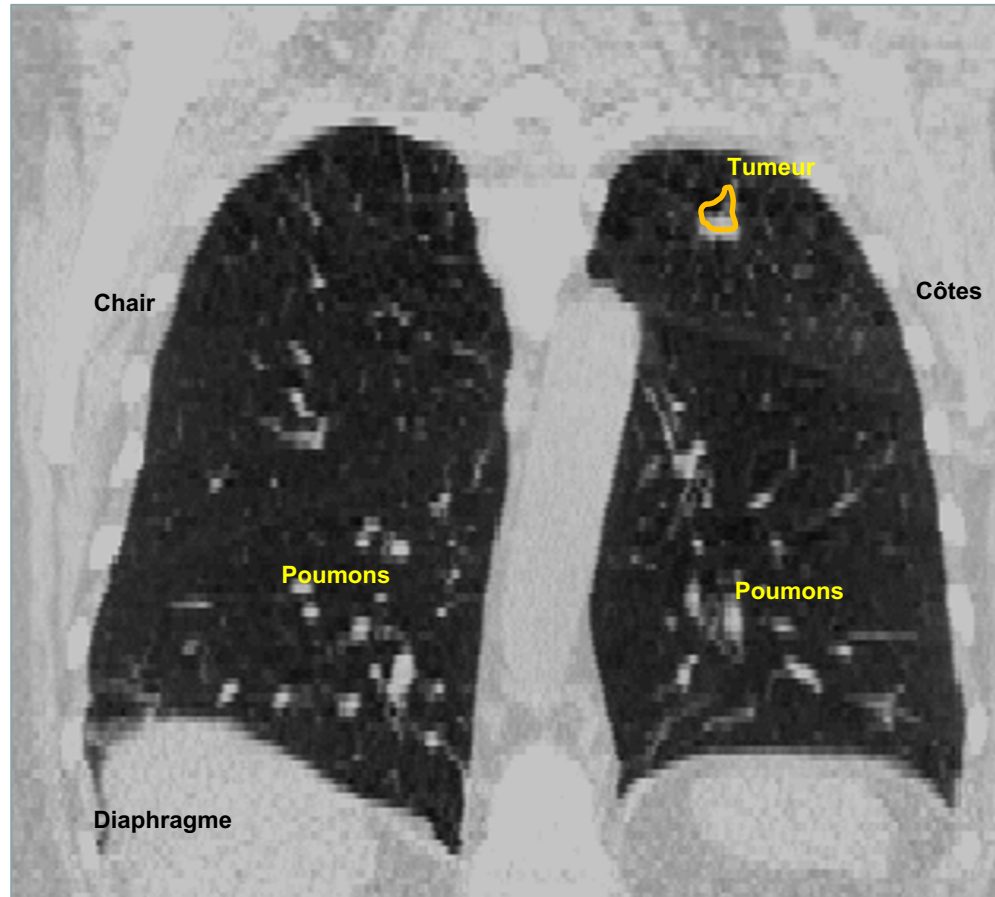
Objectif : Optimisation de la dose d'irradiation 4D pour limiter l'irradiation des tissus sains

Approche : Modélisation physiologique et biomécanique du système respiratoire pour suivre le mouvement de la tumeur

Travaux de Hamid Ladjal, Behzad Shariat, Michael Beuve

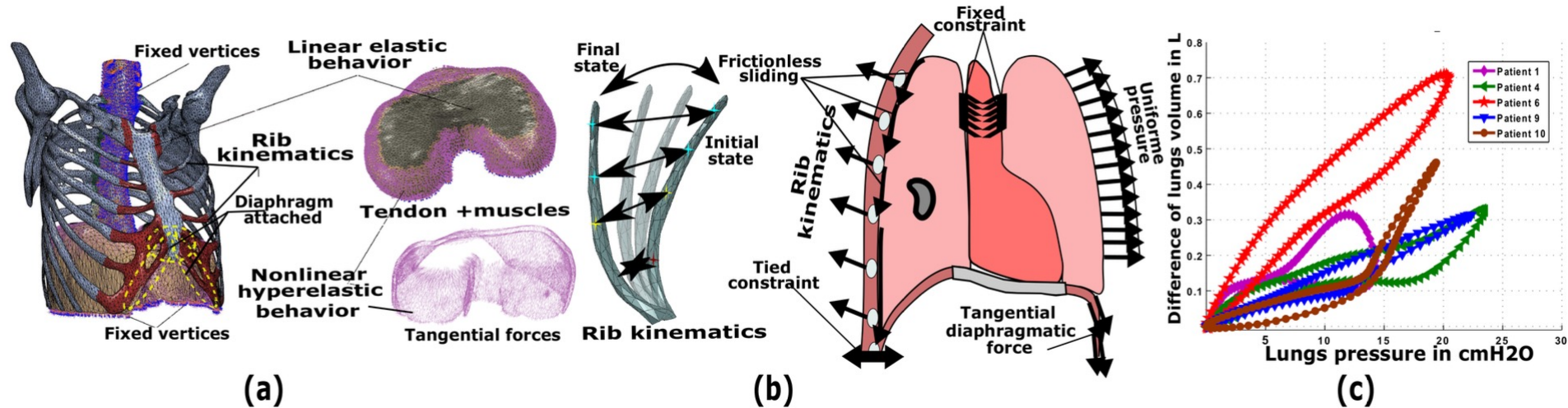


Difficultés : organes en mouvement



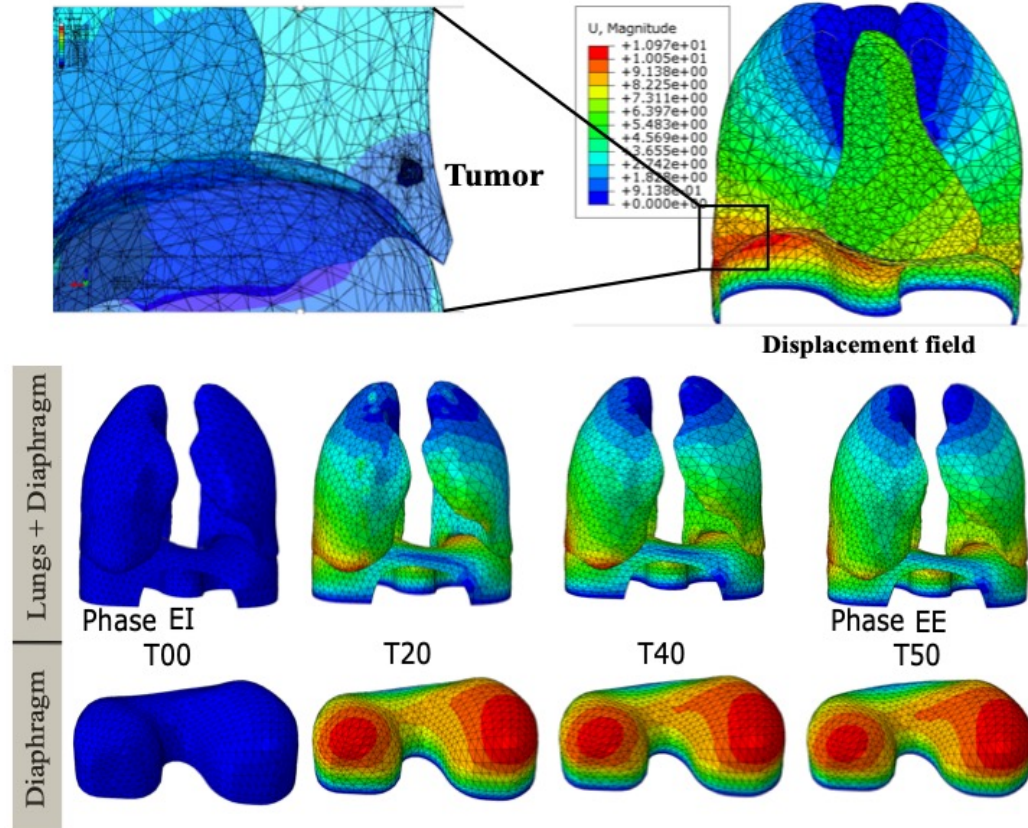
Simulation appareil respiratoire pour améliorer le traitement cancer par hadronthérapie

Modélisation biomécanique et physiologique du système respiratoire

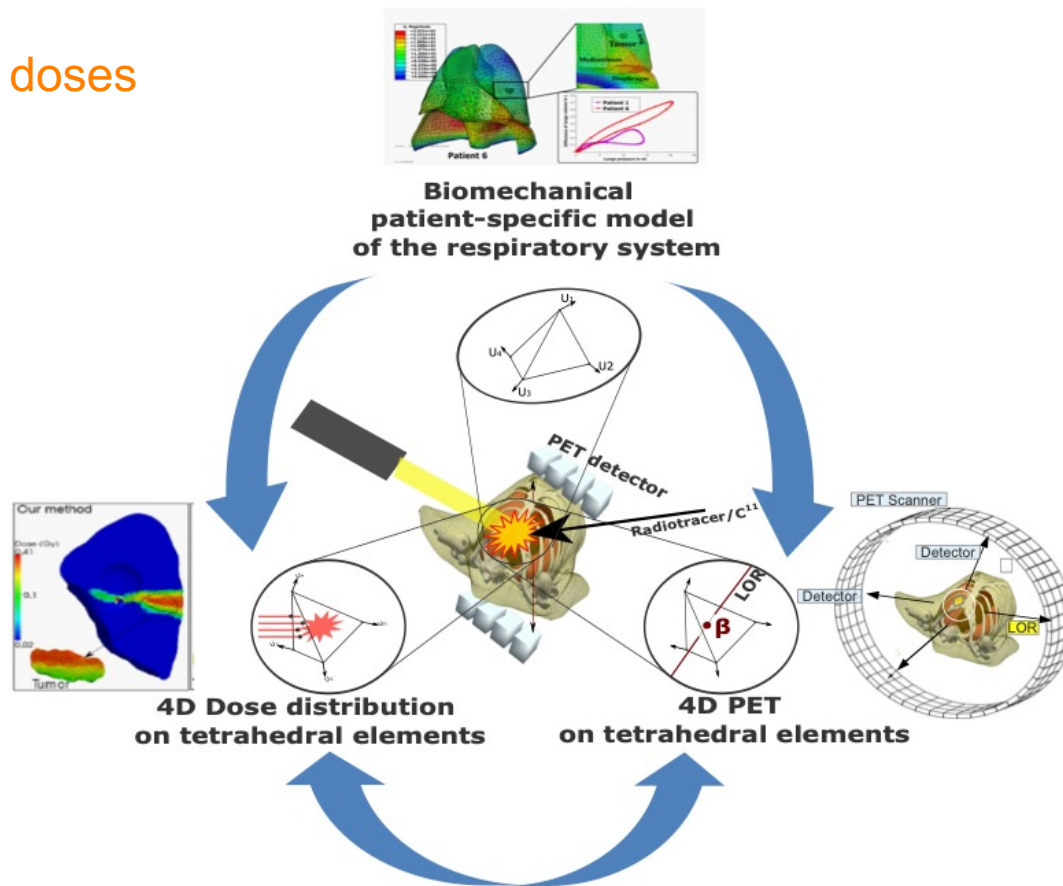


Simulation appareil respiratoire pour améliorer le traitement cancer par hadronthérapie

Simulation numérique
(Abaqus)

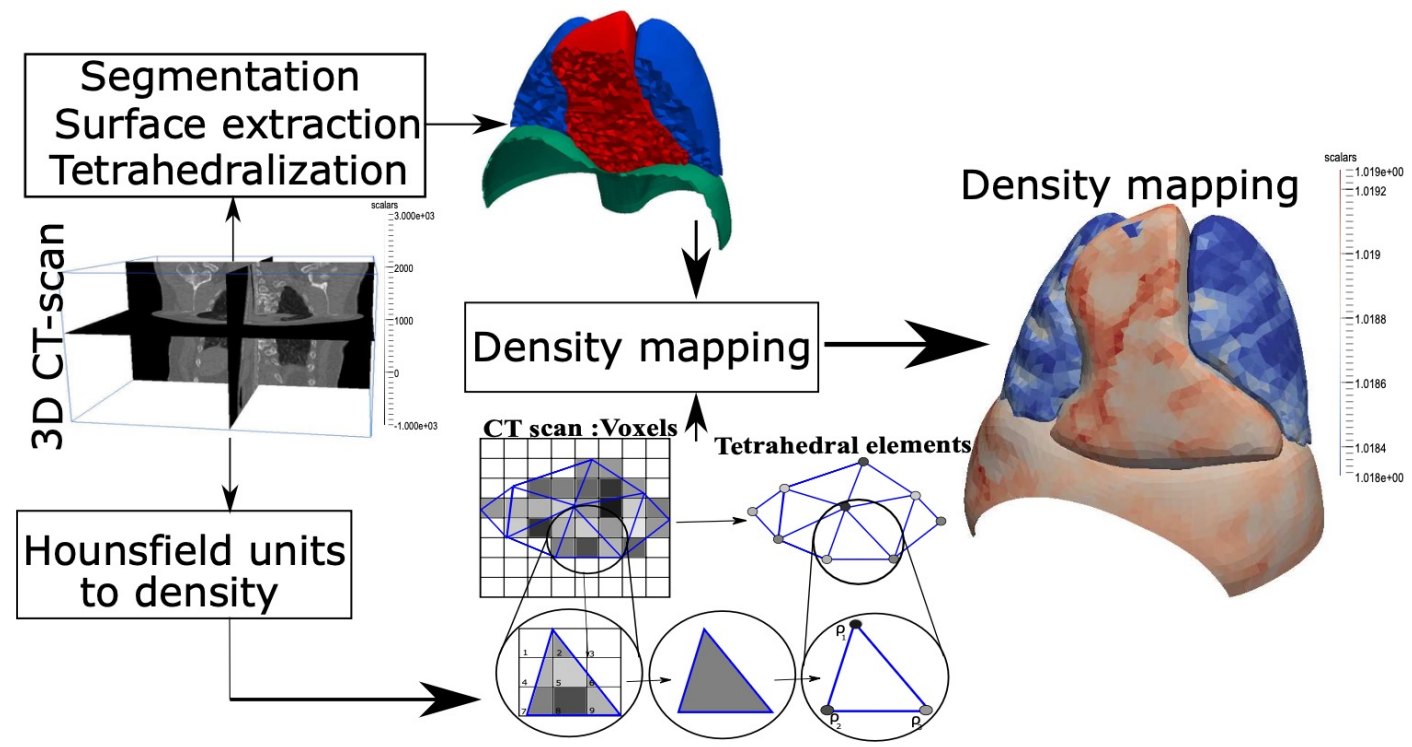


Calcul du dépôt de doses



Simulation appareil respiratoire pour améliorer le traitement cancer par hadronthérapie

Calcul du dépôt de doses



Conclusion de cette intervention

Réalité Virtuelle et quelques exemples d'applications pour la Santé

Réalité Virtuelle

- Outils pour ajouter du réalisme à la scène virtuelle, pour interagir avec la scène virtuelle

Utilisation de ces technologies pour le monde médicale

- Apprentissage de gestes médicaux-chirurgicaux
- Compréhension des comportements
- Entraînement avant opérations délicates
- Tester de nouvelles méthodes / gestes ?
- Améliorer des techniques médicales