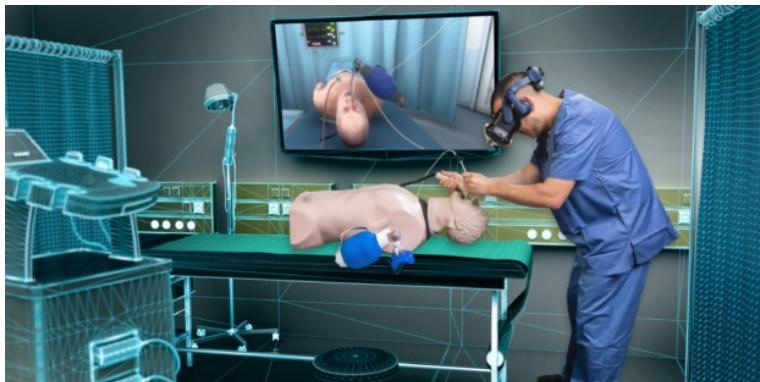
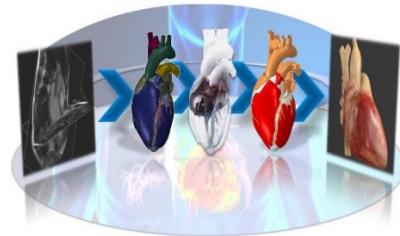


# Apport de la Réalité Virtuelle dans le domaine médical

**Florence Zara**

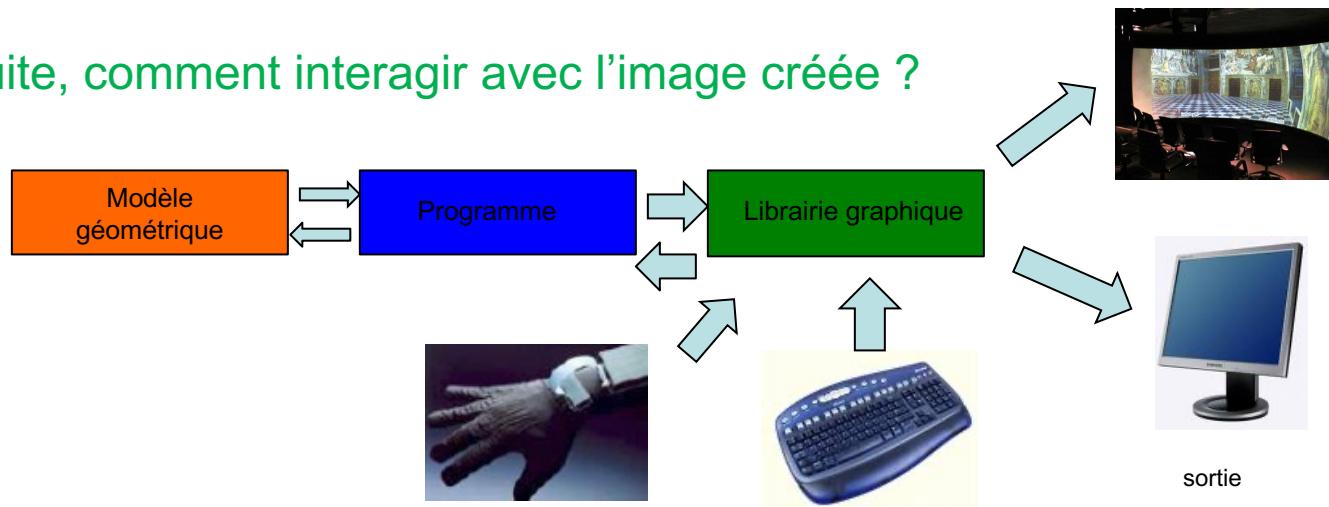
Université Claude Bernard Lyon 1, LIRIS



# 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)

périphériques d'interaction

# 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

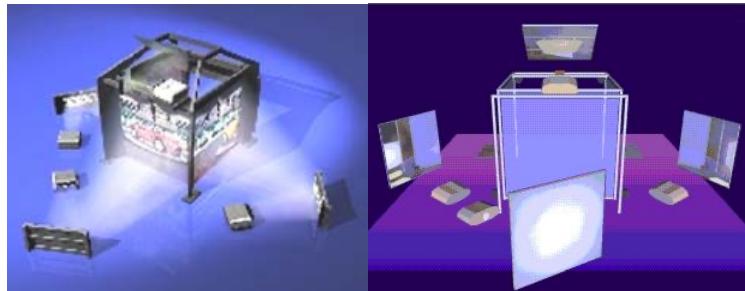
- Intérêts : haute résolution, collaboration, travail à l'échelle 1
- Mais...
  - Couverture incomplète du champ visuel
  - Coût élevé



## 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

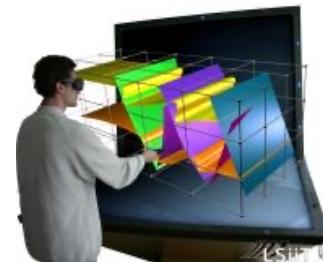
### Visio plan ou Workbench

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

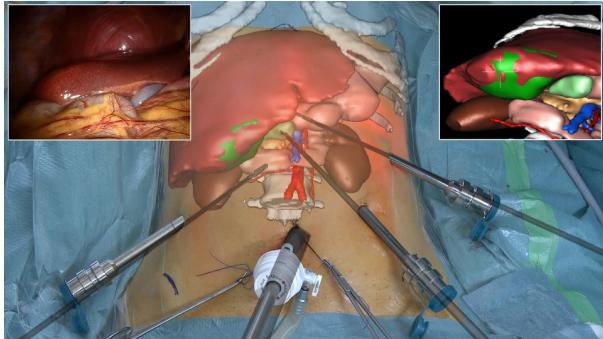
### Utilisateur visuellement isolé

- 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**

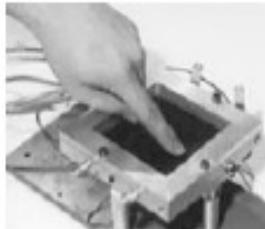
Interfaces haptiques permettent ainsi d'obtenir un **retour tactile (sensation de toucher)** lors de la manipulation d'objets de la scène virtuelle

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

## Réalité Virtuelle - Dispositif matériel pour le retour tactile

## Interfaces tactiles



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

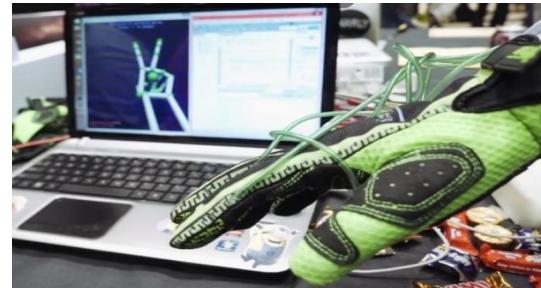


Gants DataGlove - VPL

## 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

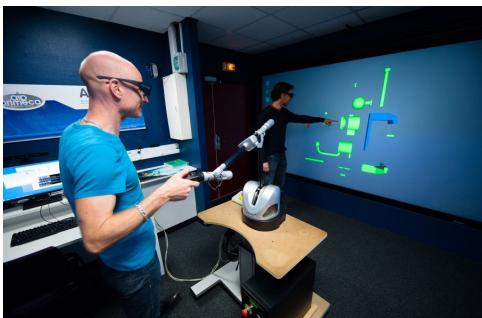
[vidéo](#)



6 DOF Phantom Premium 1.5



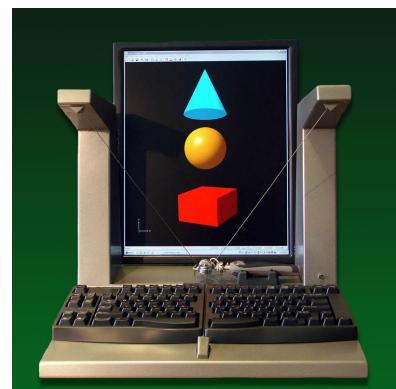
6 DOF Delta  
from Force  
Dimension



Phantom Omni - Sensable



Haption

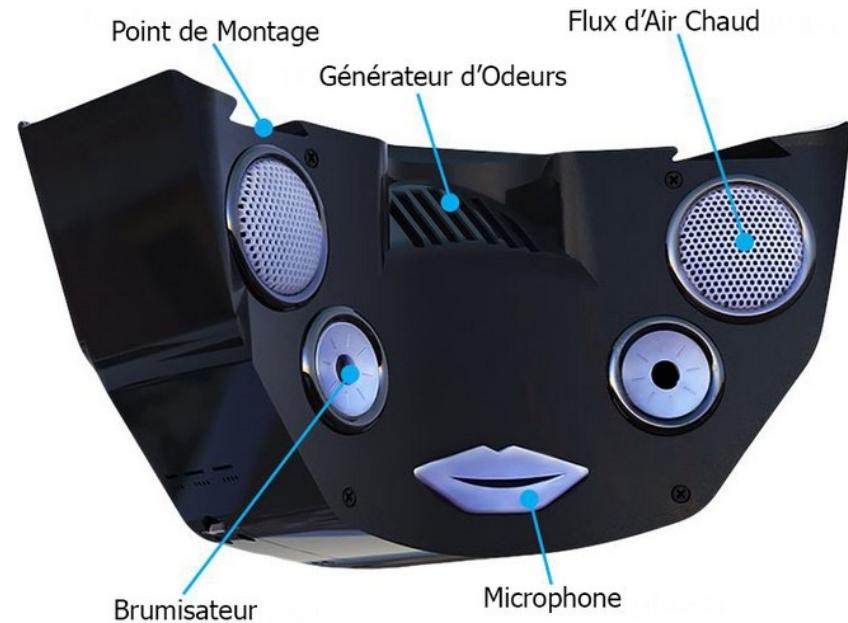


Mantis - Mimic



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

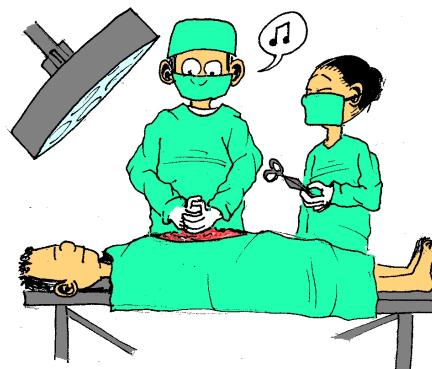
Quelques exemples de simulateurs :

- 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.**



# 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
- Entrainement 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

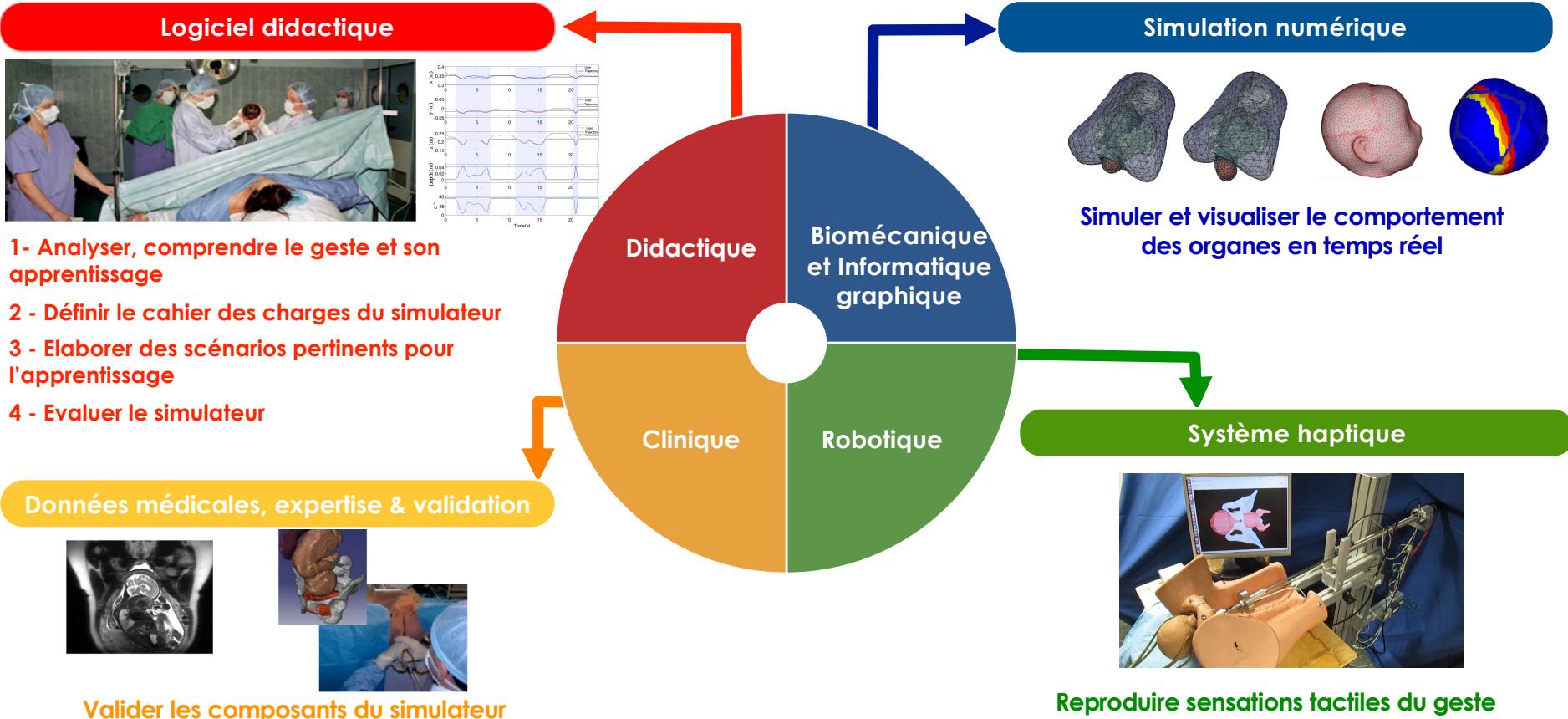
Evaluer l'apport pour l'apprentissage

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

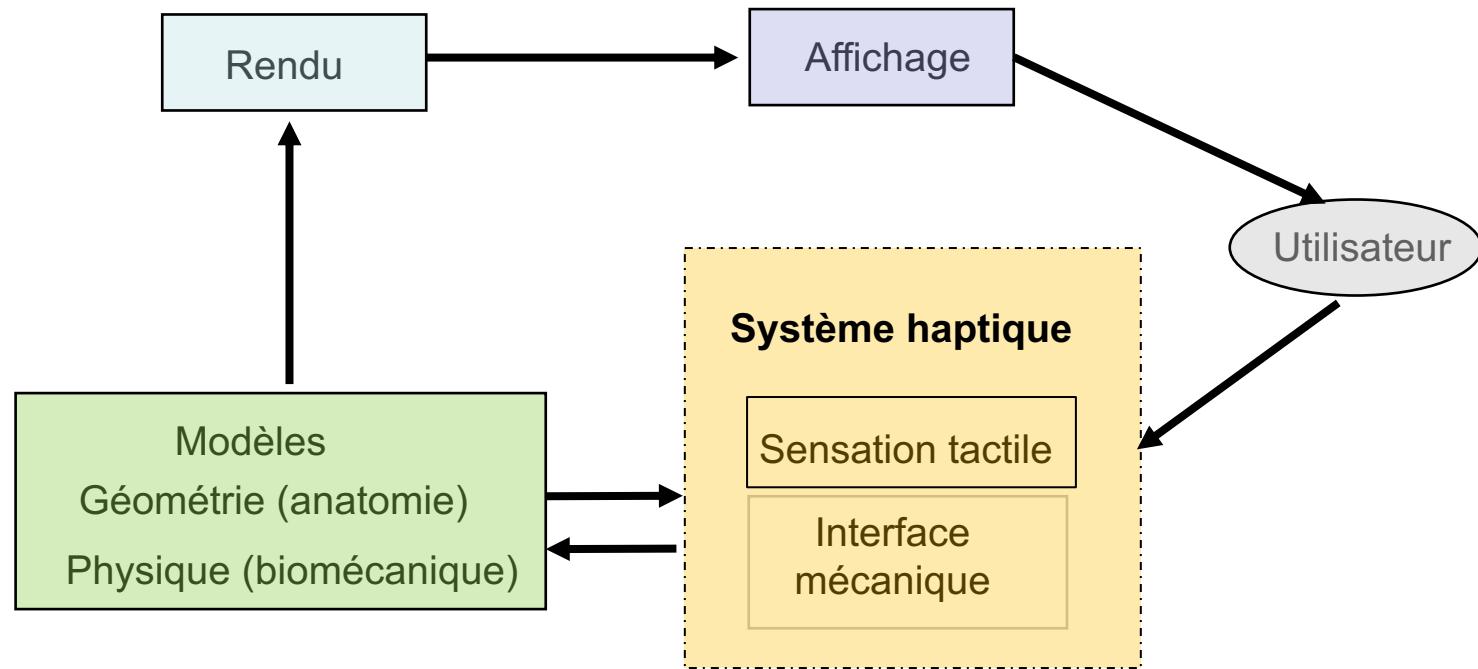
**Simulateur doit permettre d'apprendre le « vrai geste »**

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

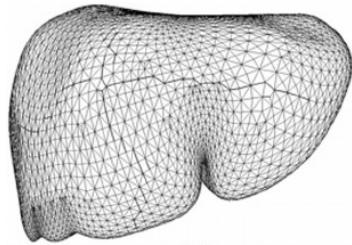
# Etapes de conception d'un simulateur d'apprentissage basé sur la RV



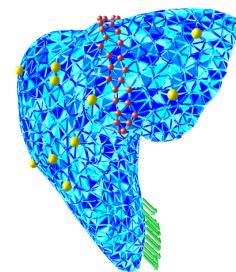
# Architecture du système de Réalité Virtuelle



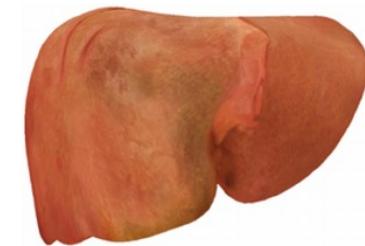
# Architecture du système de Réalité Virtuelle – Les différents éléments



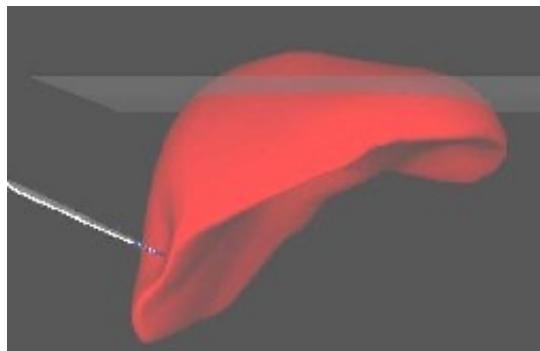
**maillage** = représentation des objets manipulés



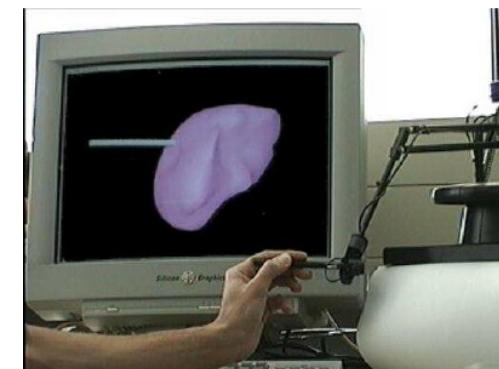
**simulation** = calculs effectués sur les éléments du maillage



**rendu** = affichage de la représentation



**interaction utilisateur**  
=  
sensation tactile  
+  
déformation

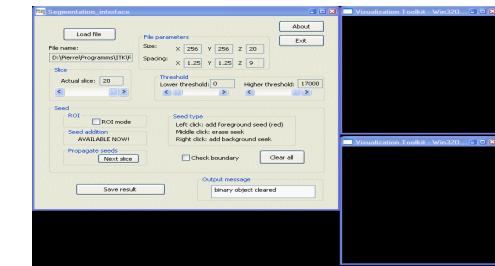


# Architecture du système de RV – Exemple simulateur de biopsies de foies

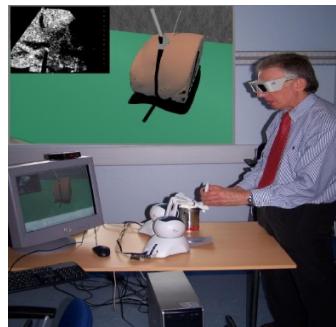
Données



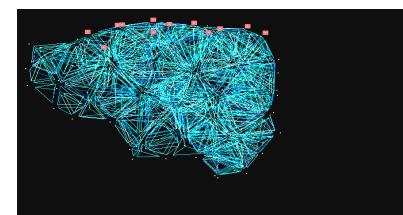
Segmentation



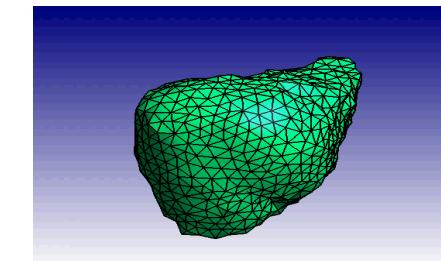
Données  
Segmentation  
Maillage surfacique  
Maillage tétraédrique



Simulateur complet

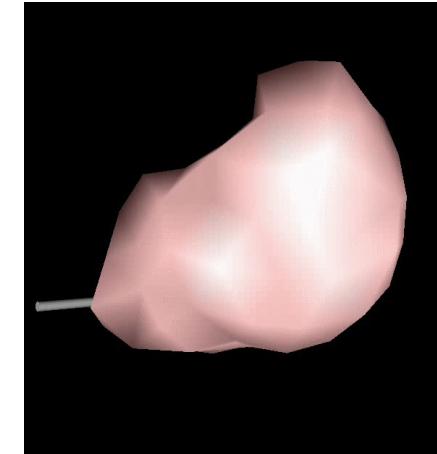
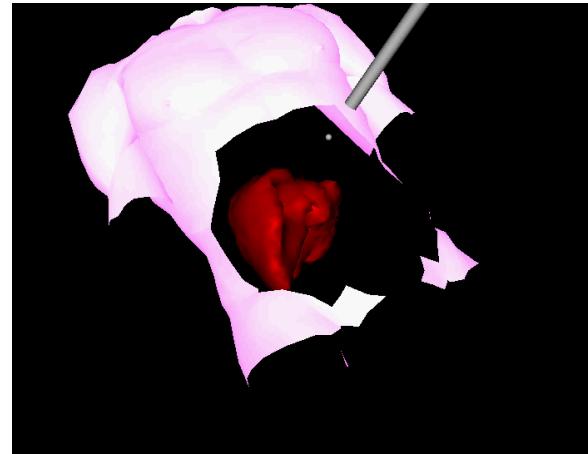
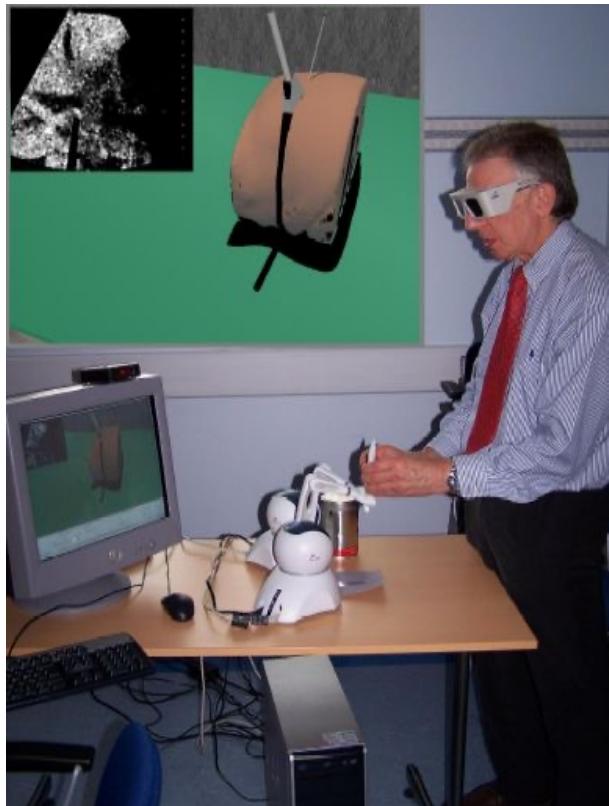


Simulation 3D



Modèle géométrique 3D

# 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

Traitements 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)

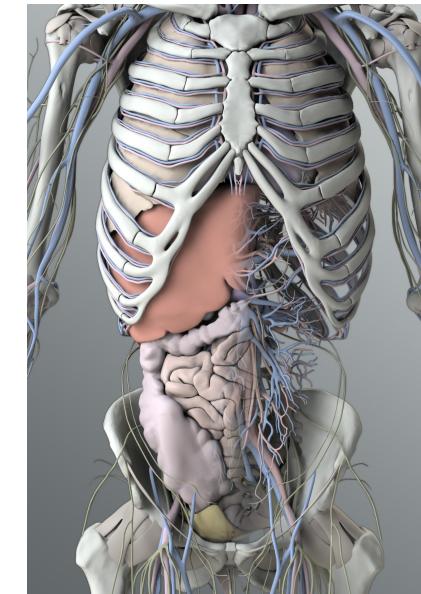
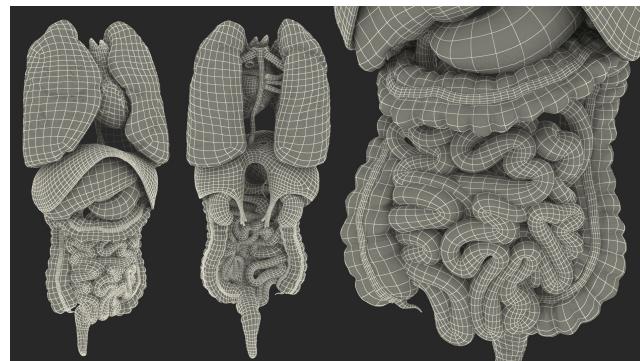
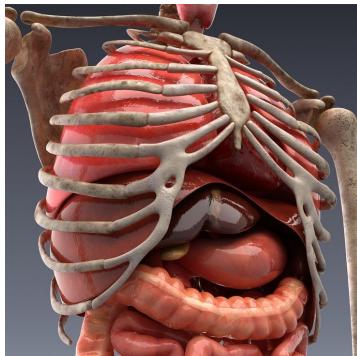
# Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

## 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



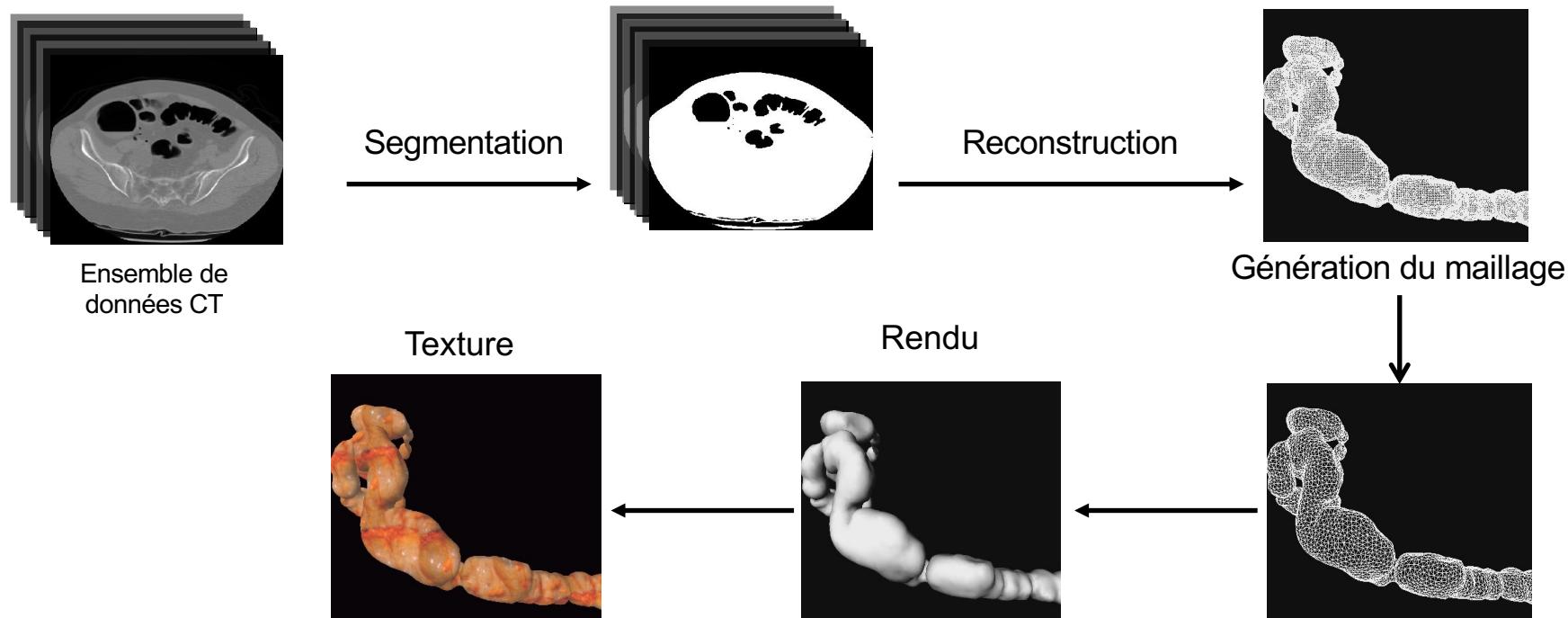
Données du patient :  
CT images

Segmentation

Maillage

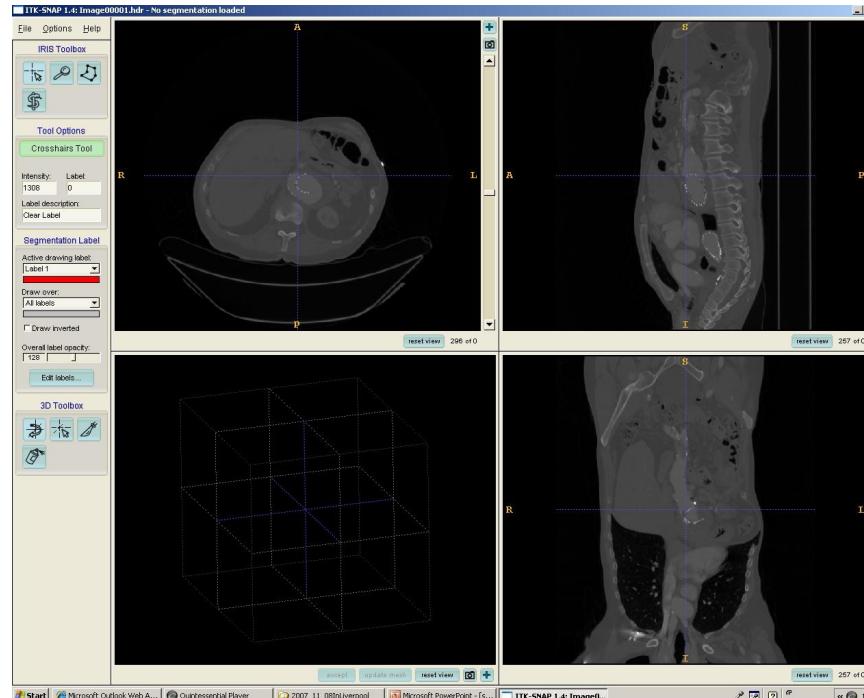
# Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Etapes pour passer des données du patient au modèle 3D



# Simulateurs chirurgicaux - Modèles géométriques

## 1- Récupération des données initiales du patient



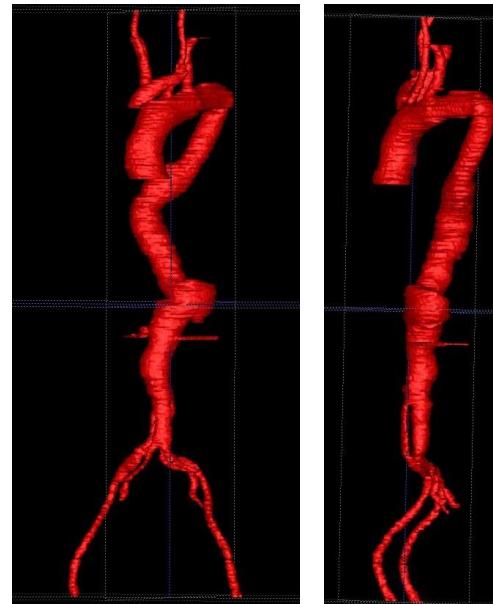
# Simulateurs chirurgicaux - Modèles géométriques

## 2- Segmentation des vaisseaux



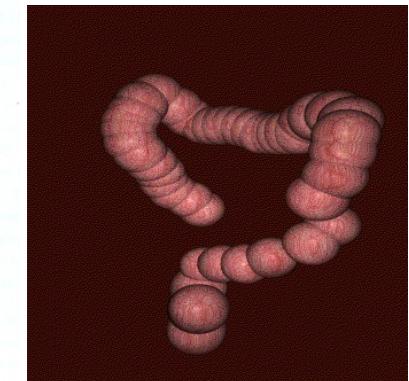
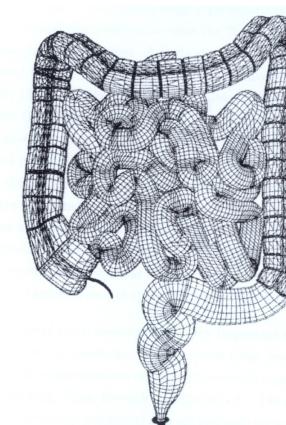
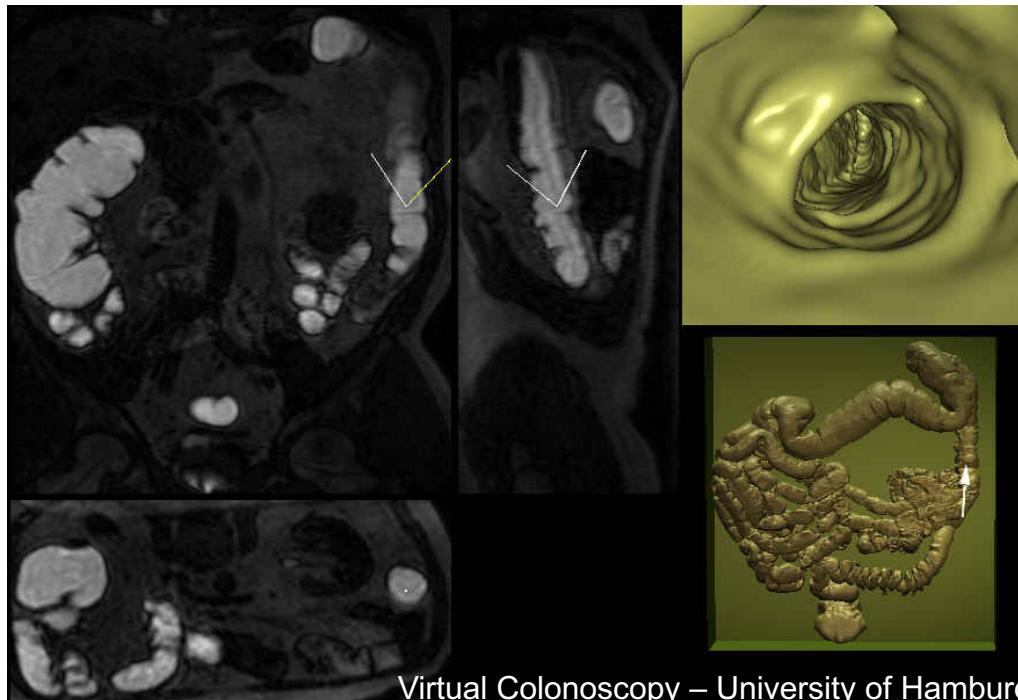
# Simulateurs chirurgicaux - Modèles géométriques

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



## Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

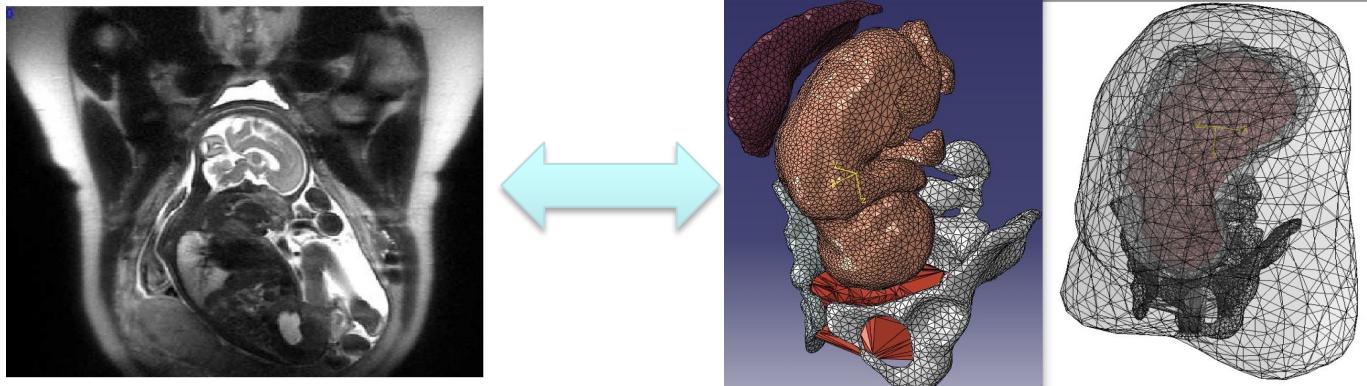
Quelques exemples



Modèle sphérique du colon

## Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

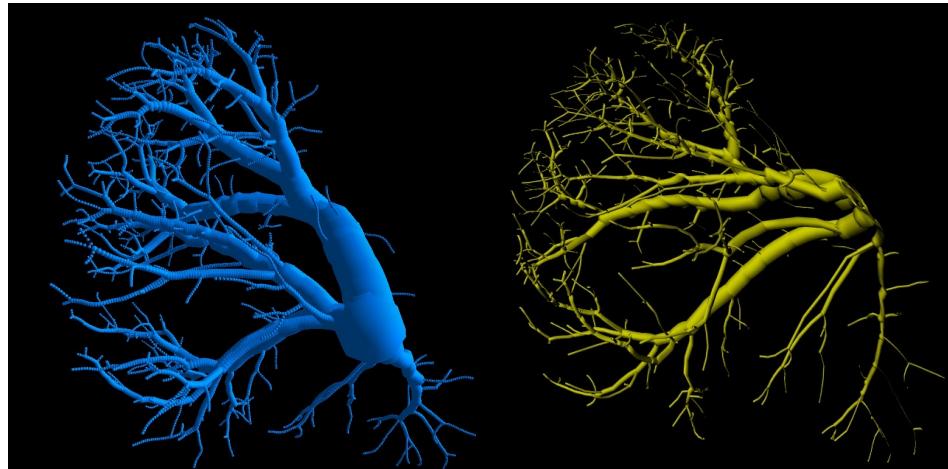
Quelques exemples



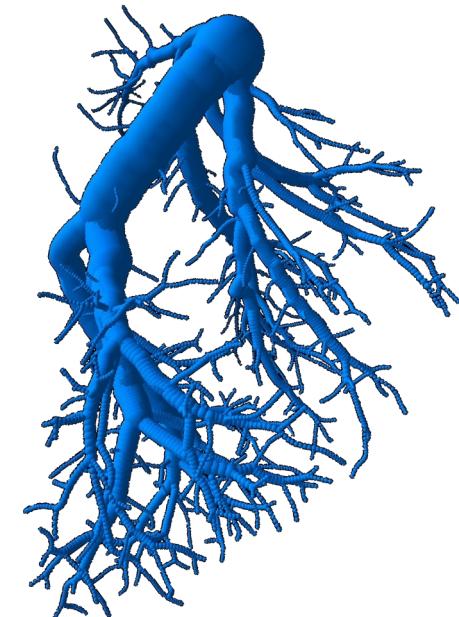
Organes impliqués dans un accouchement

## Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

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



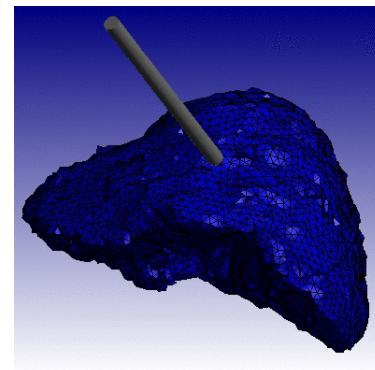
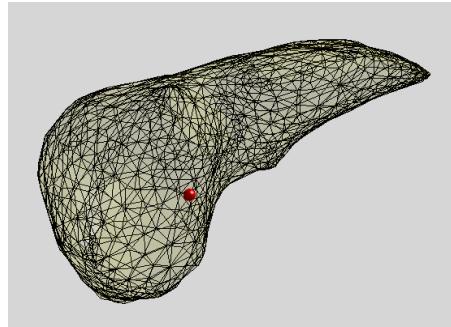
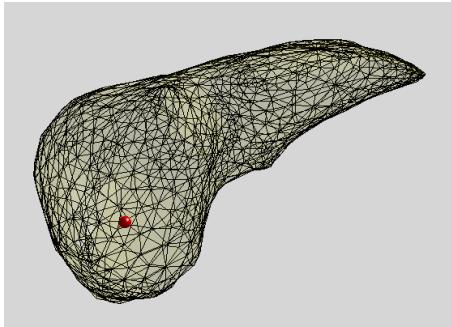
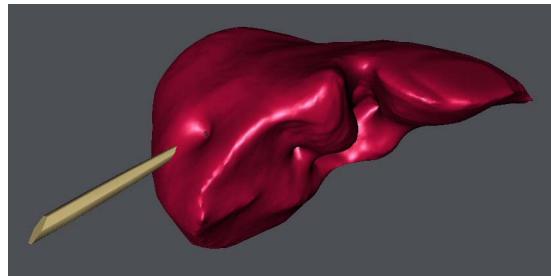
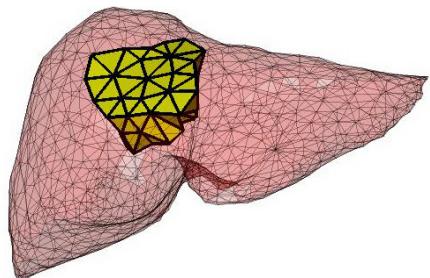
Quelques exemples



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**

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

$\rho$  masse volumique

$f_{ext}$  forces volumiques appliquées au point  
 $\operatorname{div}(\sigma)$  les forces surfaciques

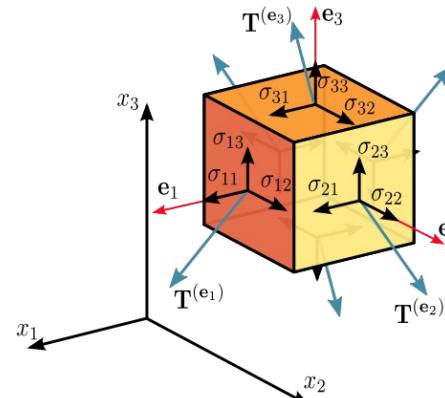
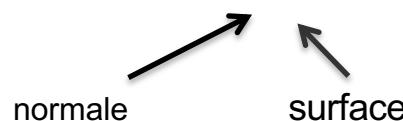
**Résolution de cette équation** (système différentielle du second ordre)  
donne **déplacement u** au cours du temps

**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  $T = \sigma n dS$



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

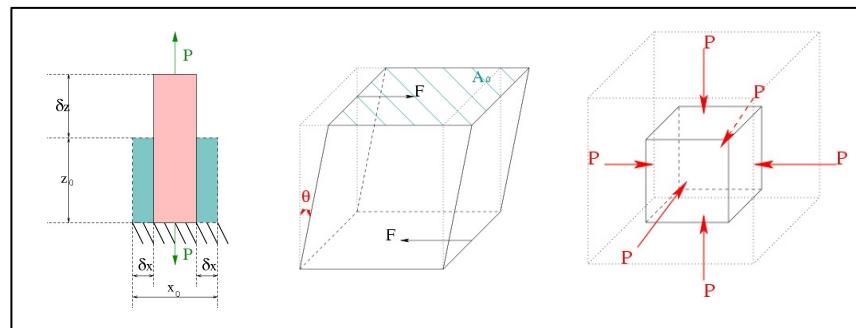
## Principaux paramètres d'élasticité qui caractérisent les objets déformables

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

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

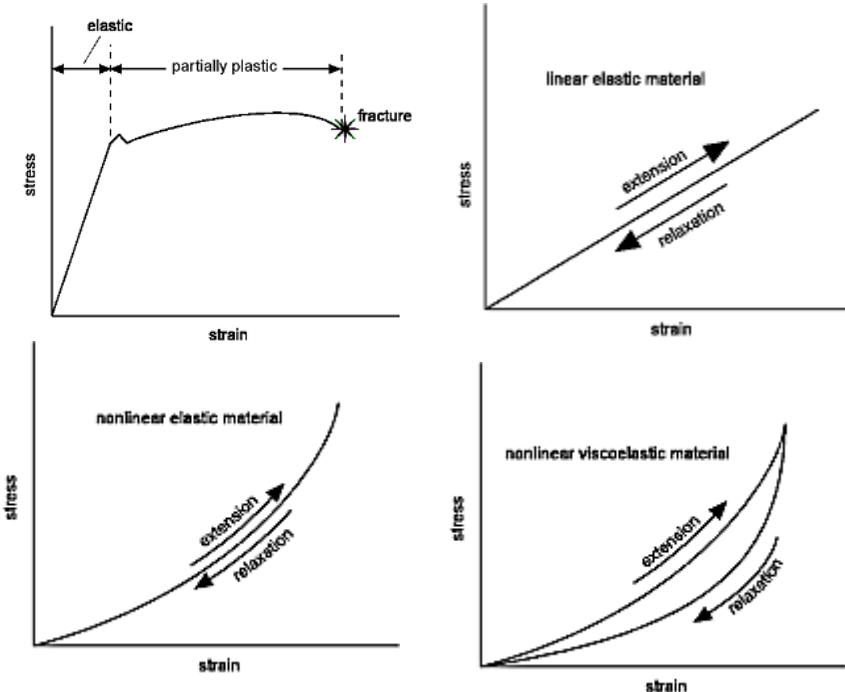
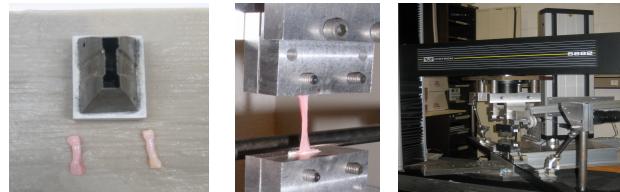
avec le gradient de  $u$  défini par :  $\vec{\nabla}u = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} & \frac{\partial u_x}{\partial y} & \frac{\partial u_x}{\partial z} \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} & \frac{\partial u_y}{\partial y} & \frac{\partial u_y}{\partial z} \\ \frac{\partial u_z}{\partial x} & \frac{\partial u_z}{\partial y} & \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{pmatrix}$

→ tenseur des déformations ( $\varepsilon$ ) est relié au champ de contrainte ( $\sigma$ ) par la **loi de comportement de l'objet** (Hooke, Néo-Hooke, Saint Venant Kirchoff, 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 :  
 $\text{contrainte } (\sigma) = \text{module de Young } (E) \times \text{déformation } (\varepsilon)$

## 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

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

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

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

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

## Simulation par modèles physiques - MMC

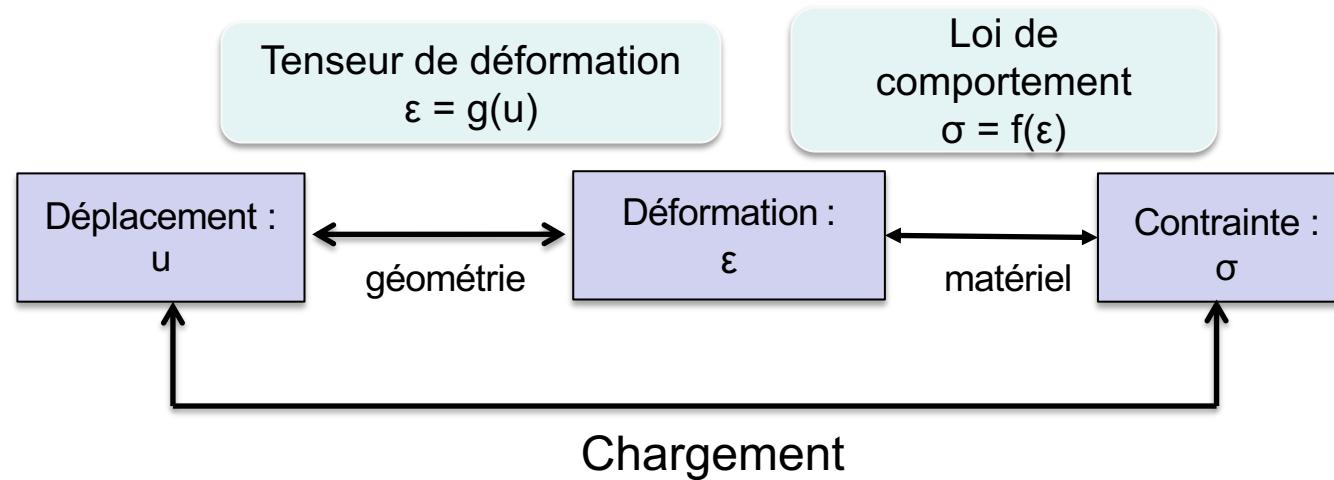
### Loi de comportement pour élasticité non-linéaire

- Difficile de trouver la relation entre contrainte et déformation

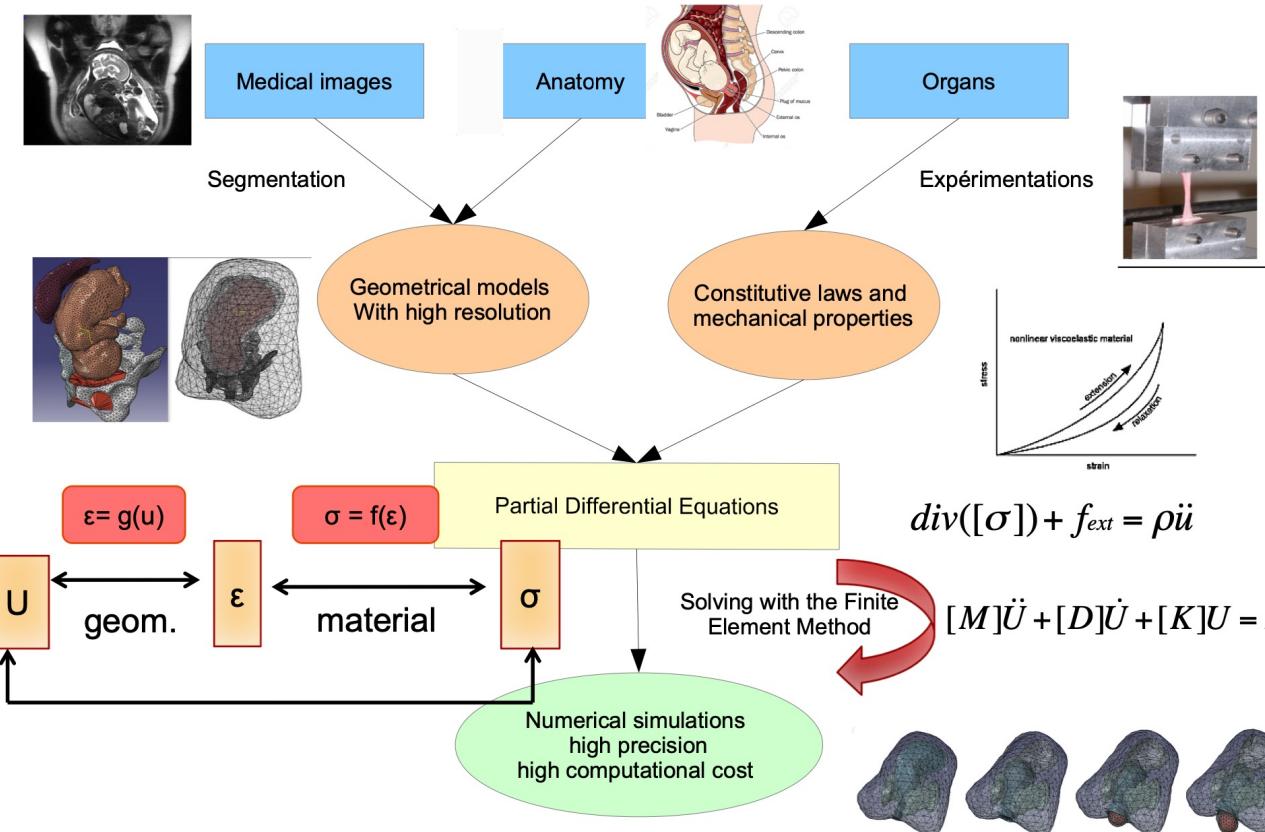
$$\sigma = \frac{\partial W(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \leftarrow \text{Energie de déformation}$$

## 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 :**

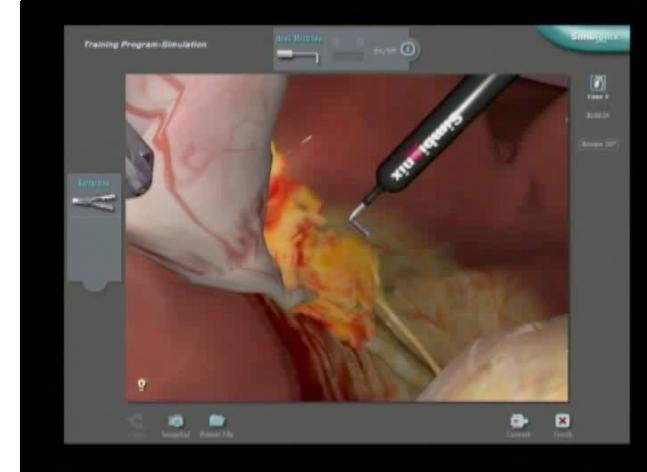
- Simplification des modèles géométriques des organes
- Lois de comportement simples
- Modèles physiques adaptés
- Conditions aux limites
- Modèle de collision
- Parallélisation des algorithmes de simulation

## Des exemples de simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux

## Simulateurs chirurgicaux – Exemples de simulateurs commerciaux



Lapsim Laparoscopic Simulator

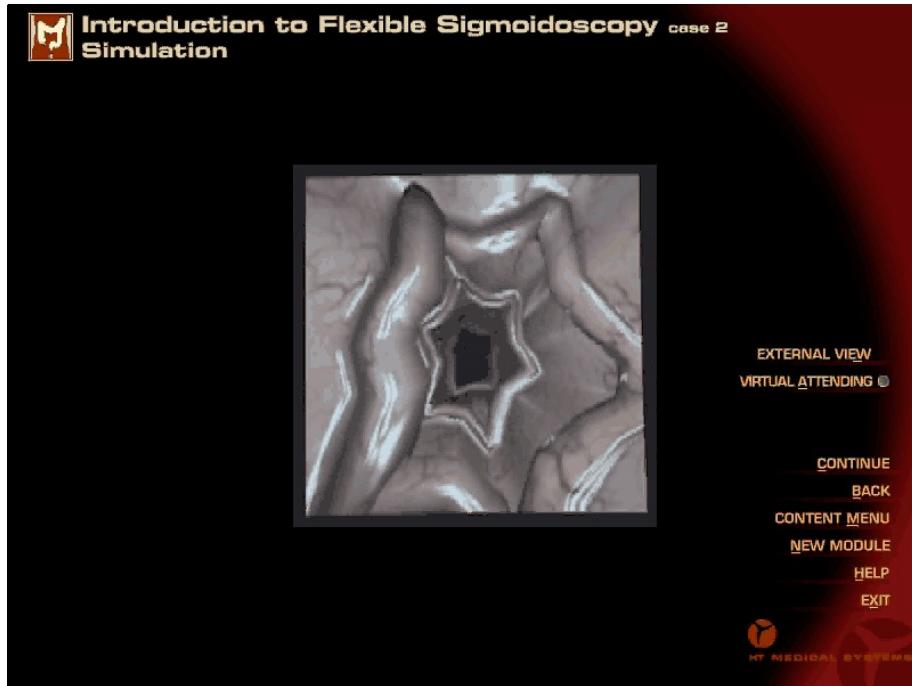


Simbionix Lap Mentor

LaparoS™ - The most realistic laparoscopy simulator

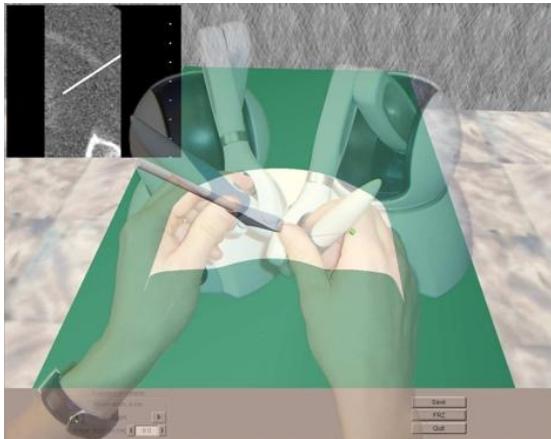
Simbionix™ LAP Mentor™ Lobectomy

# Simulateurs chirurgicaux – Exemples de simulateurs commerciaux



*Immersion Medical  
Sigmoidoscopy  
Simulator*

## Simulateurs médicaux - Interfaces haptiques



Bras Phantom pour la biopsie



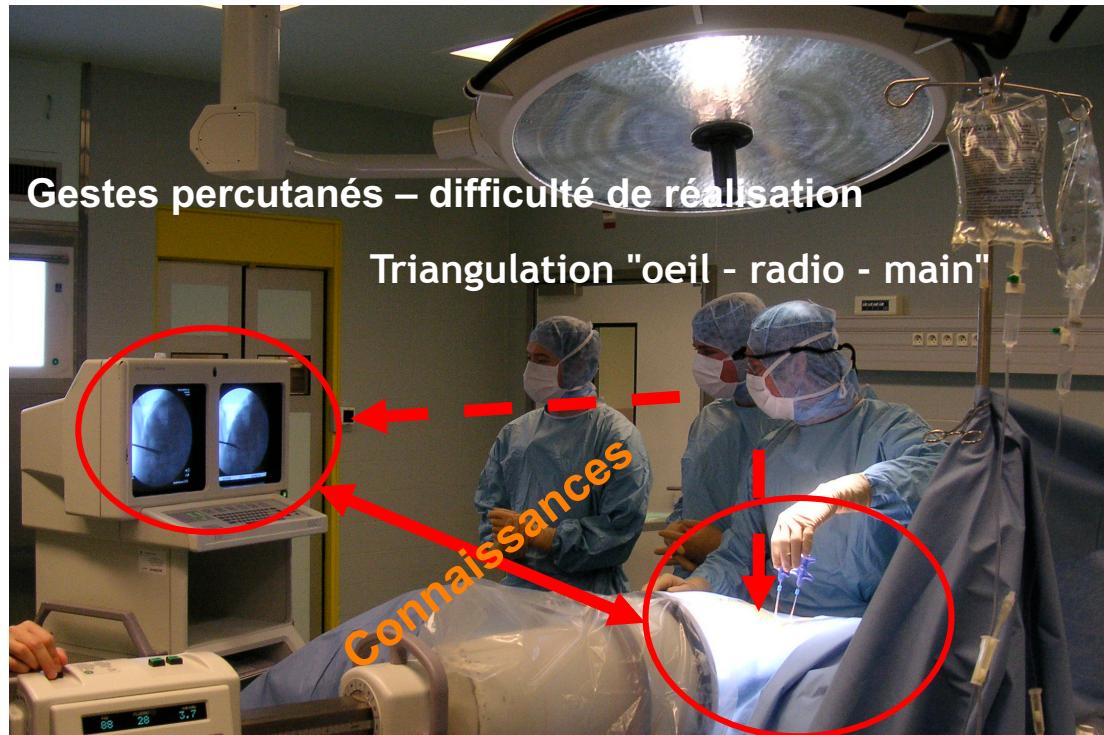
VSP (Voxmap Pointshell)  
pour la réalisation d'un  
sondage

## Simulateurs médicaux - Interfaces haptiques

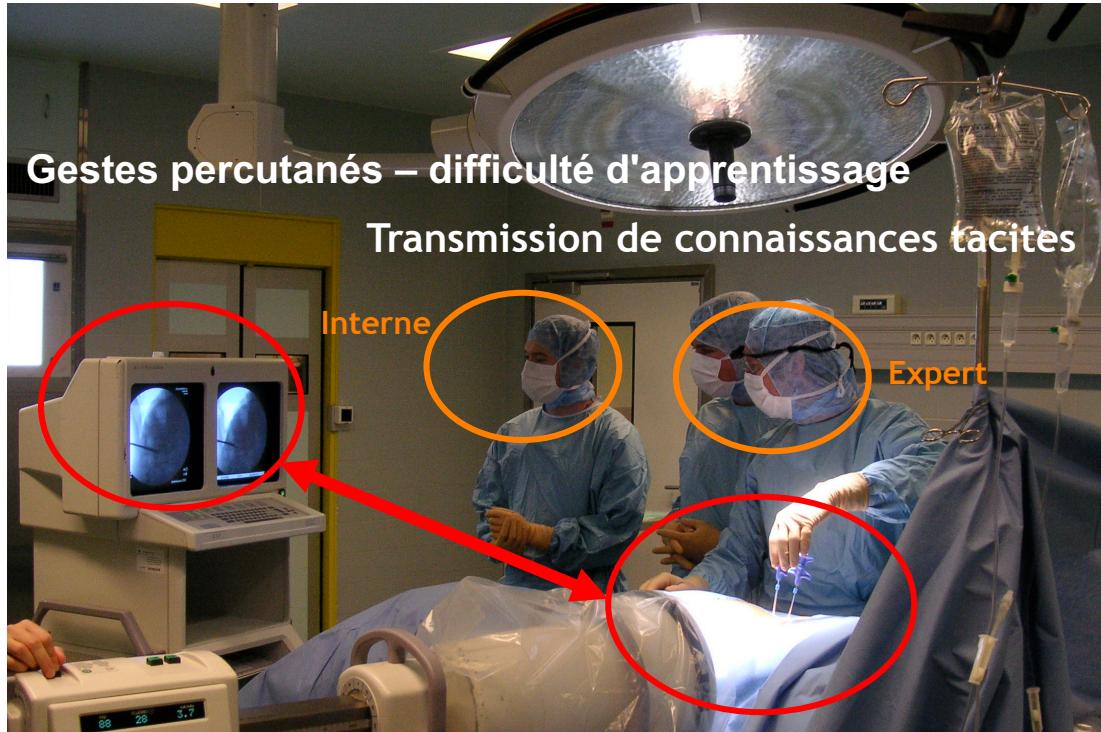
Apprentissage pour la chirurgie dentaire  
(DIGISENS)



# Vissage Sacro-Illiaque – Projet TELEOS

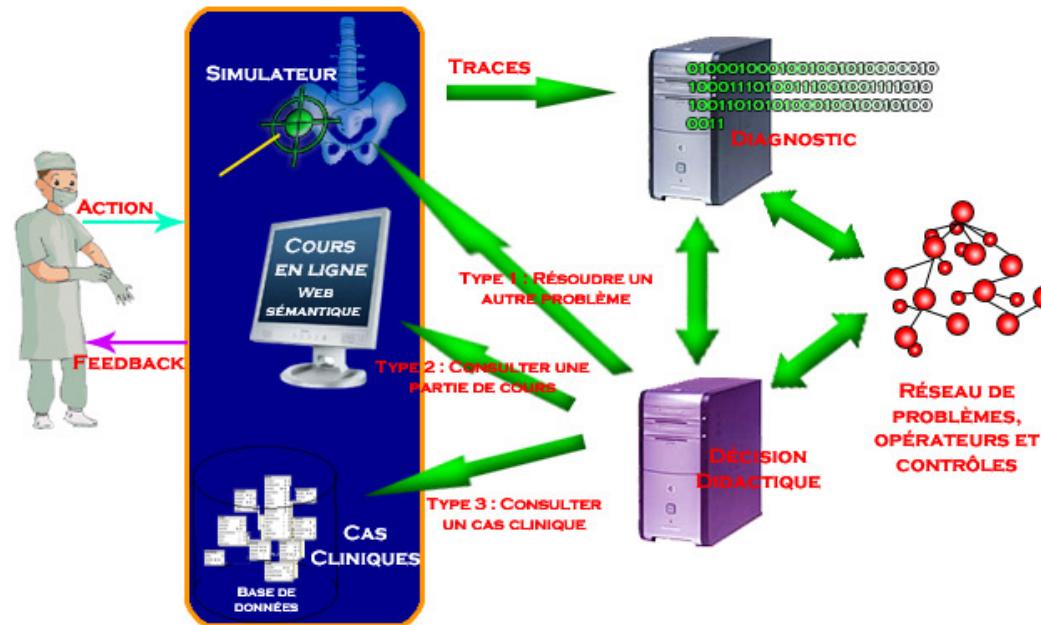


# Vissage Sacro-Illiaque – Projet TELEOS

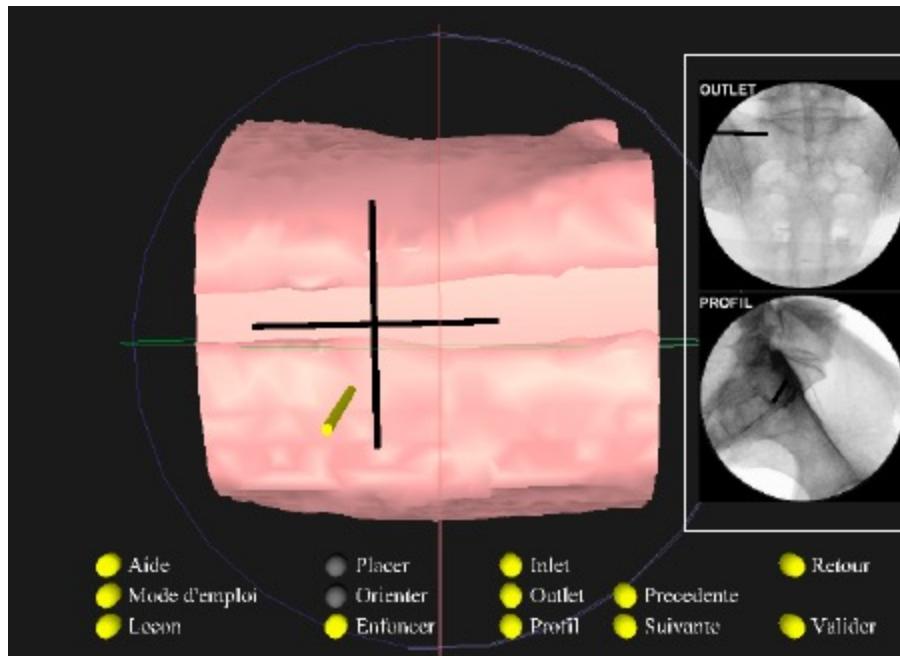


# Vissage Sacro-Illiaque – Projet TELEOS

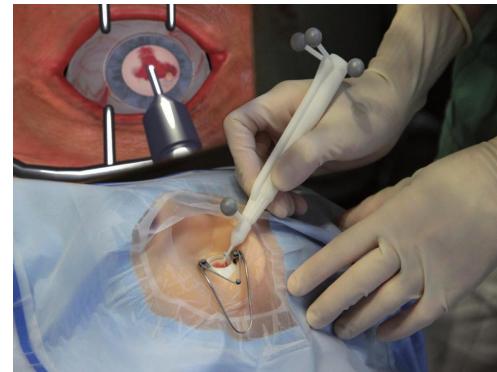
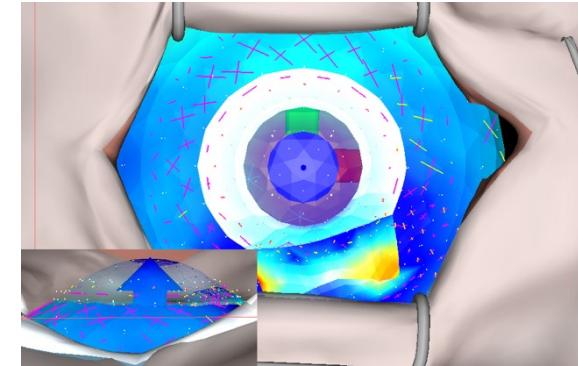
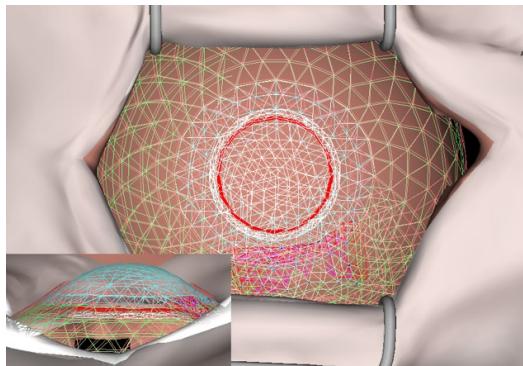
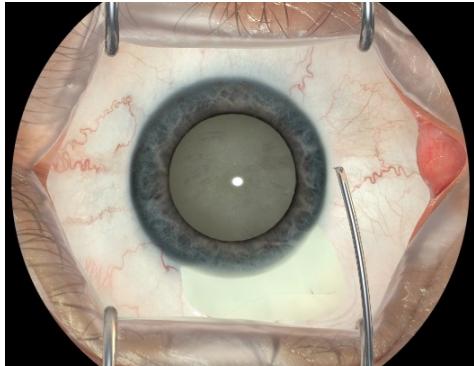
## ARCHITECTURE



# Vissage Sacro-Illiaque – Projet TELEOS



## Simulateurs de gestes chirurgicaux – Traitement de la cataracte

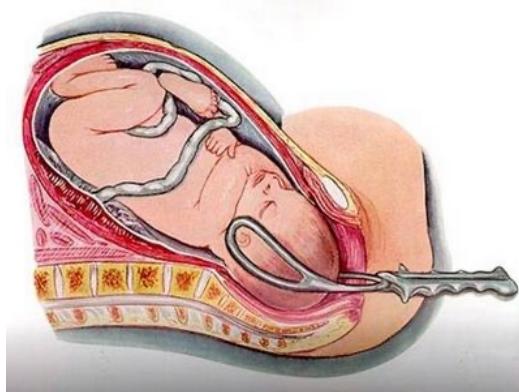


[Vidéo](#)

INRIA Lille  
HelpMeSee

# Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

**Oser utiliser des forceps pour ne pas recourir à une césarienne**

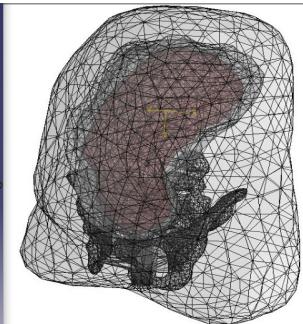
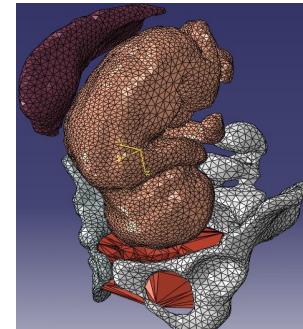
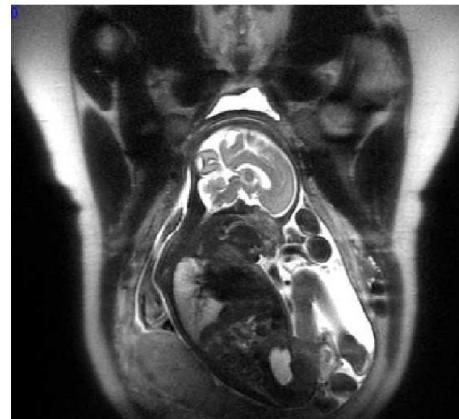


## Enjeux du simulateur :

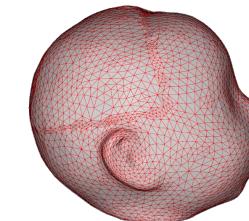
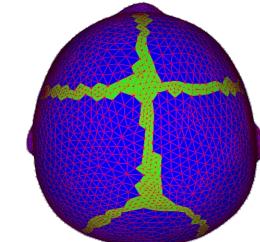
- Reproduire la simulation de la descente du fœtus sans trajectoire imposée
- Reproduire les déformations de la tête fœtale
- Reproduire les sensations tactiles durant le geste d'extraction
- Evaluer le geste réalisé sur le simulateur

# 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

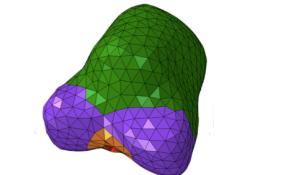
## Simplifications pour réduire temps de calculs – modèles géométriques et physiques

- Simplification of the meshes (less nodes)

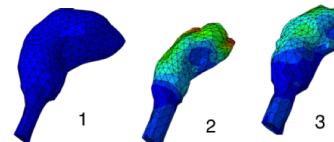


- Simplification of the constitutive law of organs

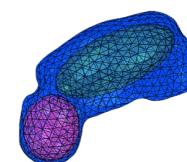
- **Pelvis:** Hooke -  $E = 23 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.3$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$



- **Abdomen:** Néo-Hooke -  $C_{10} = 5 \text{ kPa}$ ,  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$



- **Uterus:** Néo-Hooke -  $C_{10} = 30 \text{ kPa}$ ,  $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$



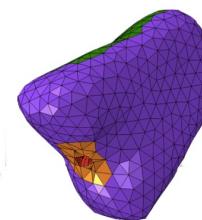
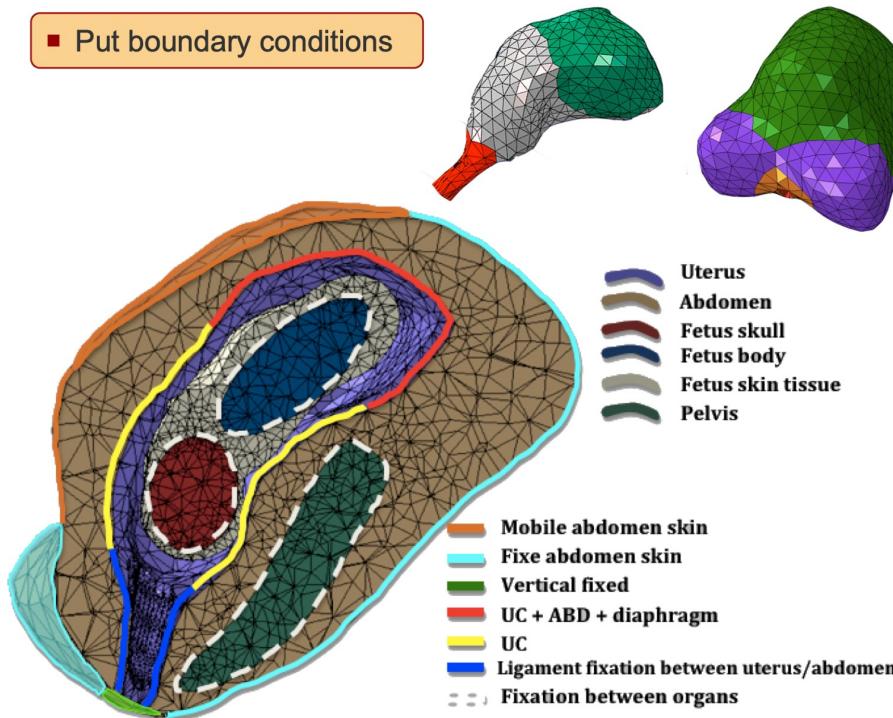
- **Fetus:** Néo-Hooke

- Skin:  $C_{10} = 130 \text{ kPa}$ ,  $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$
- Skull:  $C_{10} = 75 \text{ kPa}$ ,  $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$
- Body:  $C_{10} = 70 \text{ kPa}$ ,  $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$

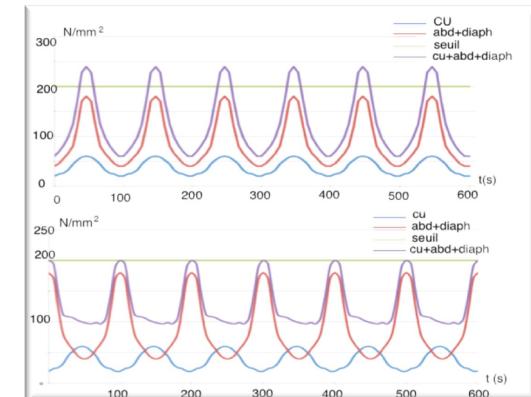
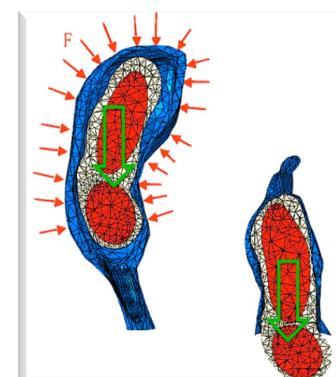
# Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

## Conditions aux limites

■ Put boundary conditions

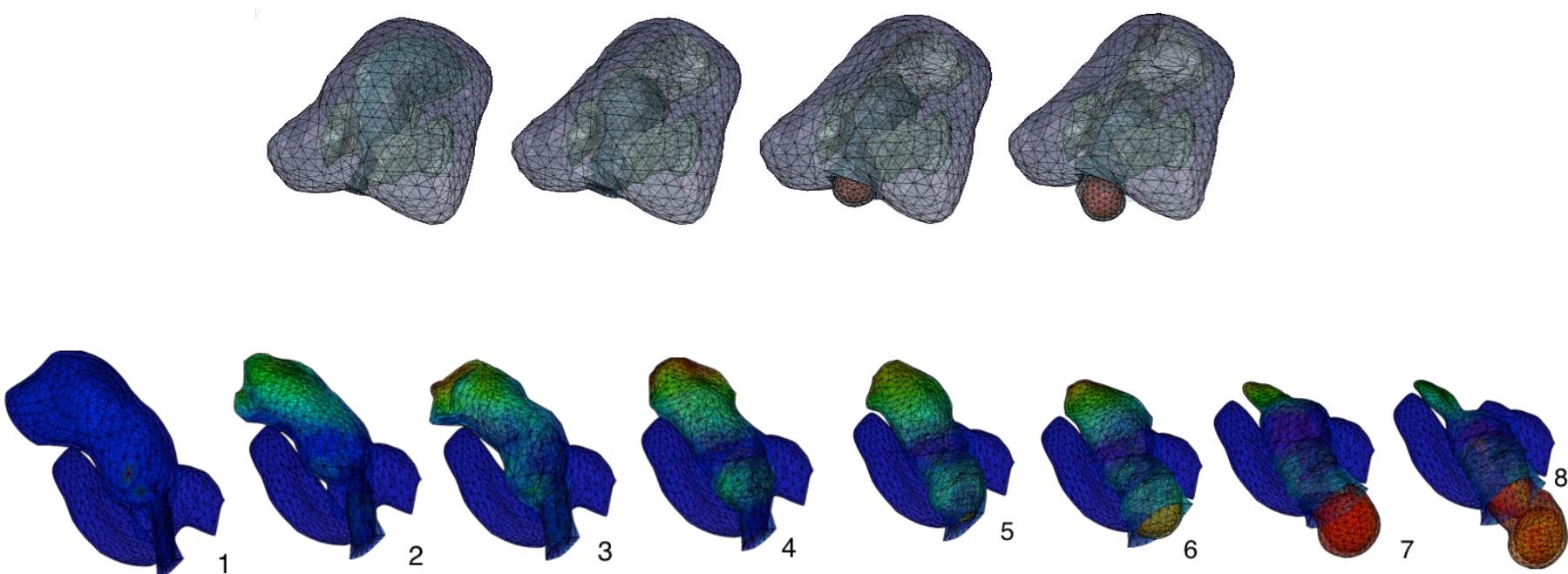


## Contractions utérines



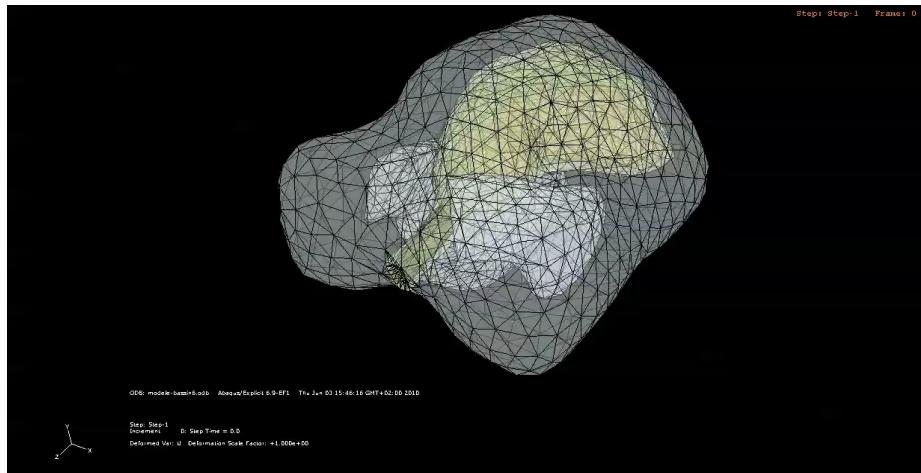
# Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

## Résultats de la simulation

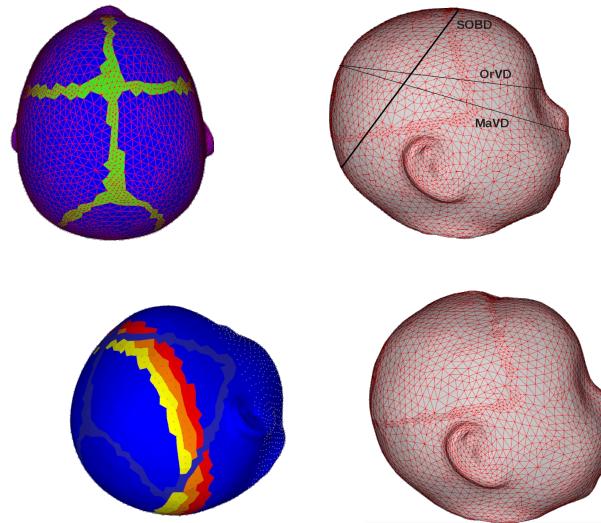


# Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

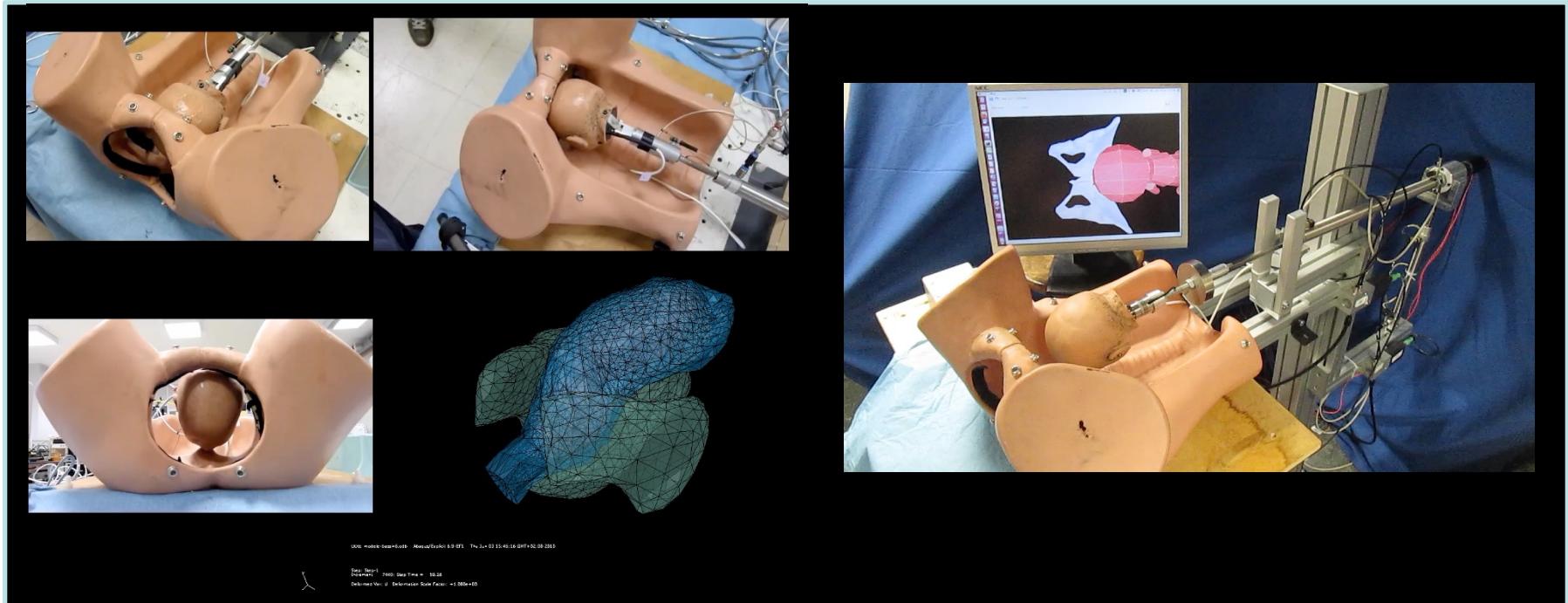
## Simulation de la descente du fœtus sans trajectoire imposée



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



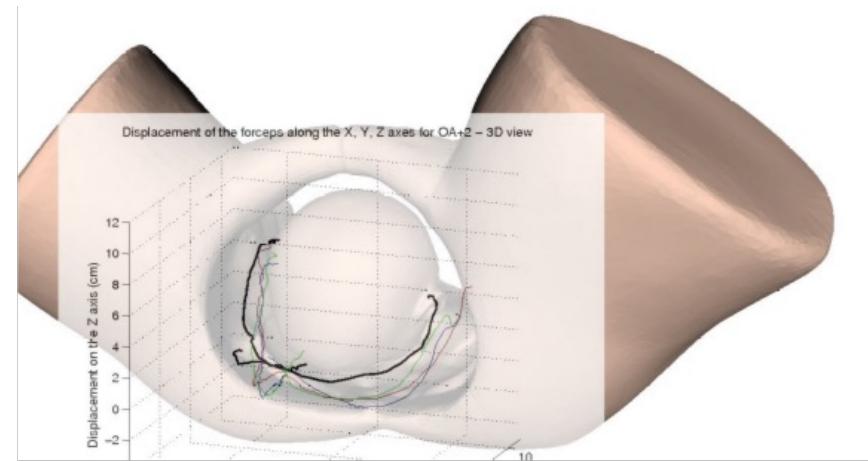
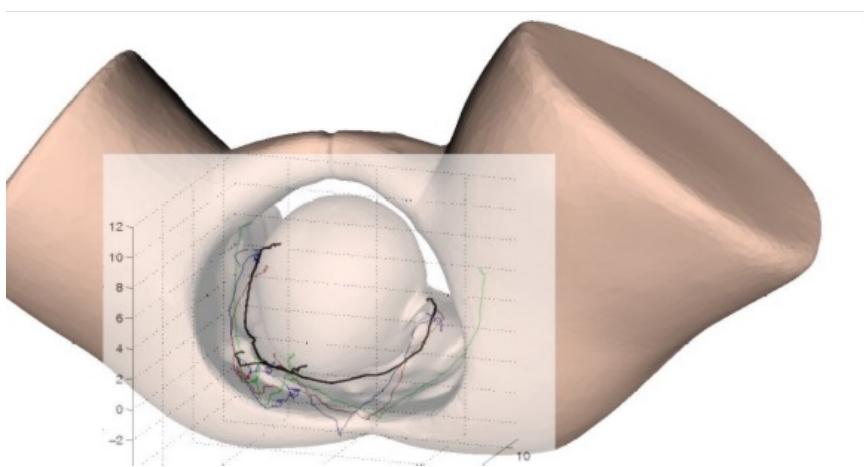
## Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus



**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-manielle

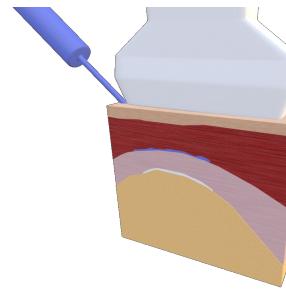


### Enjeux du simulateur :

- 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

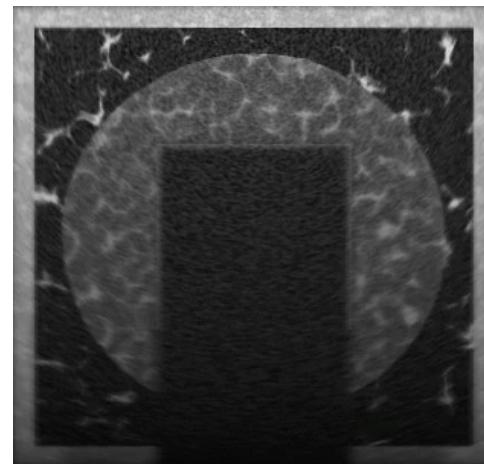
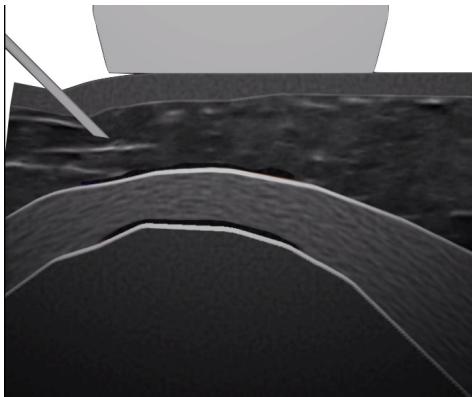
# Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

## Modèles 3D



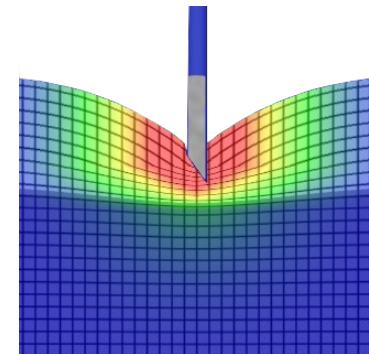
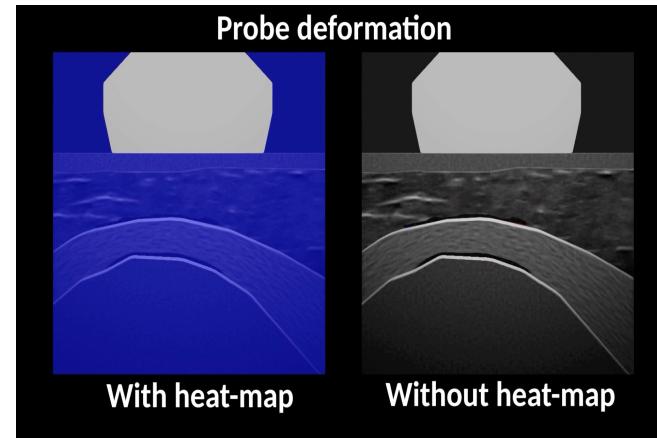
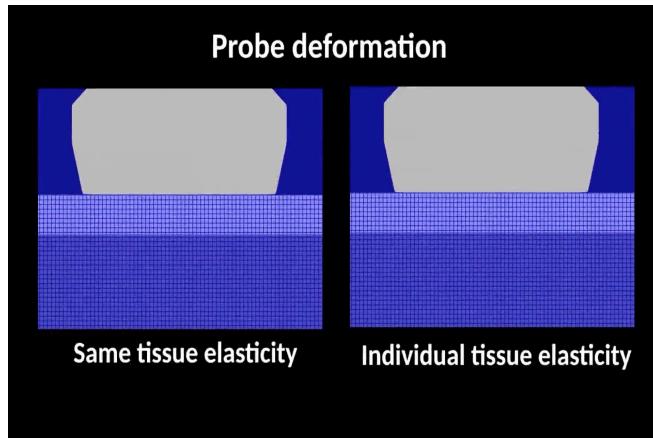
# Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

## Rendu de type échographie

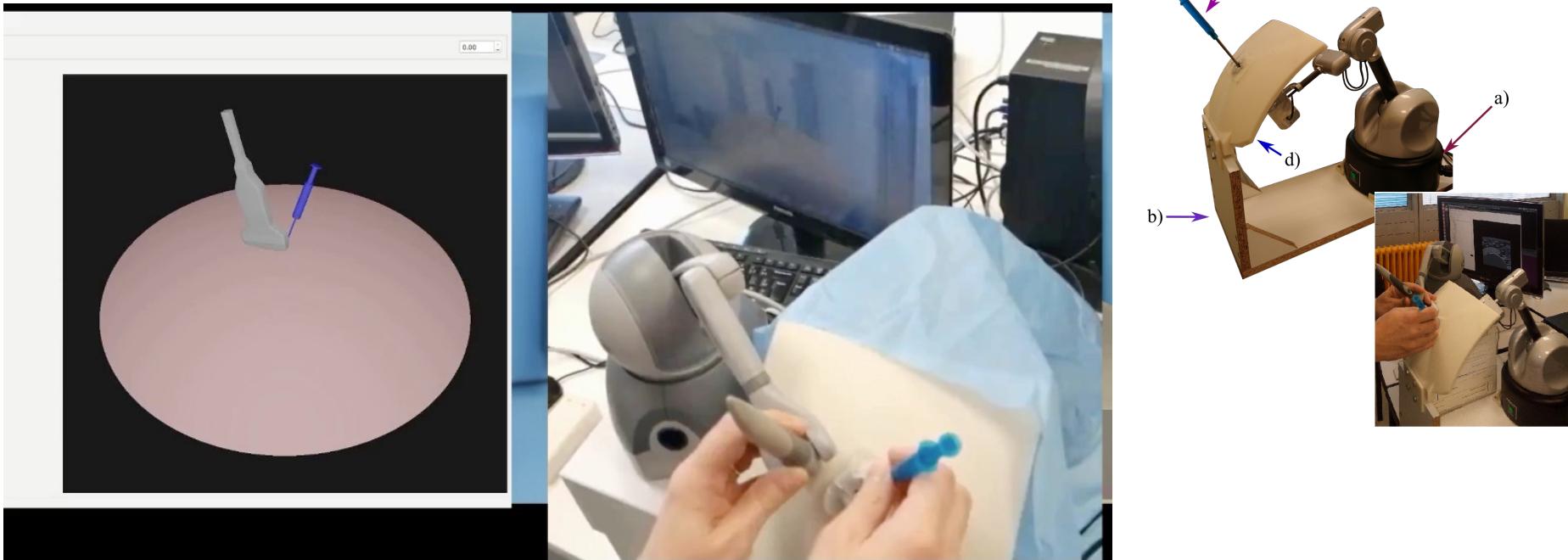


# Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

## Déformation : aiguille et sonde



# Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

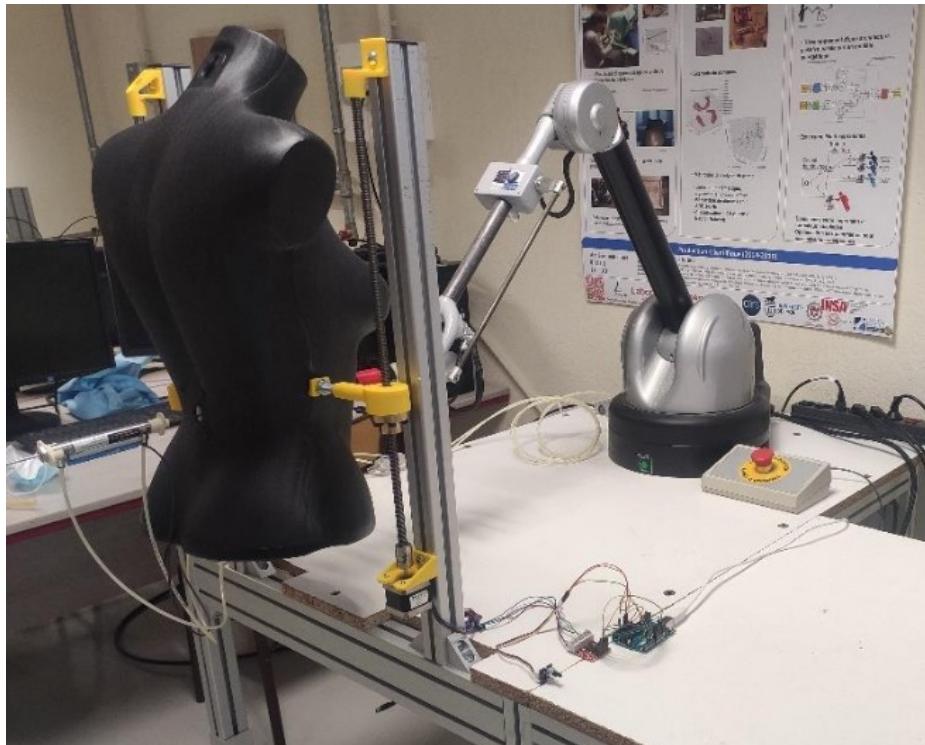


**Couplage : simulation numérique & dispositif haptique**

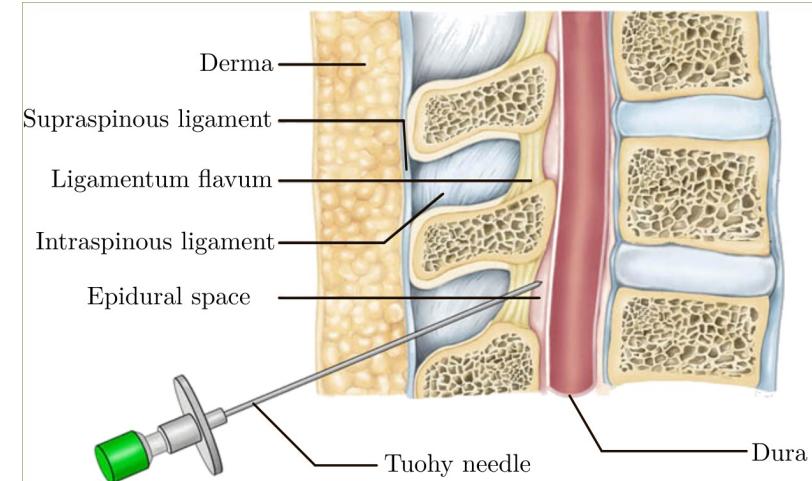
## Simulateurs de gestes chirurgicaux – SOFA et InfinyTech3D



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



## Système haptique

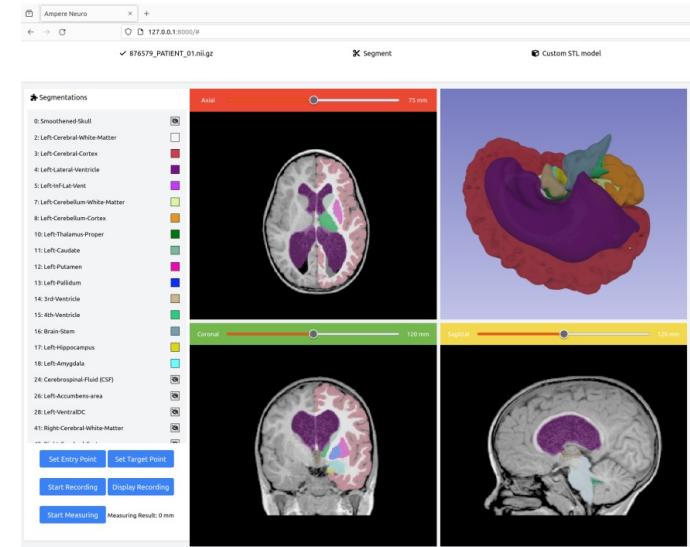
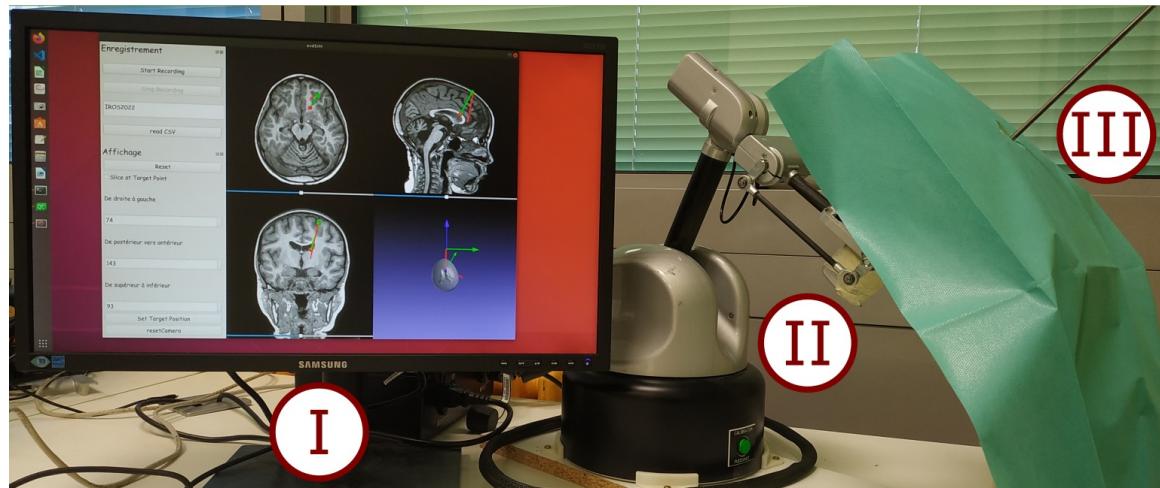


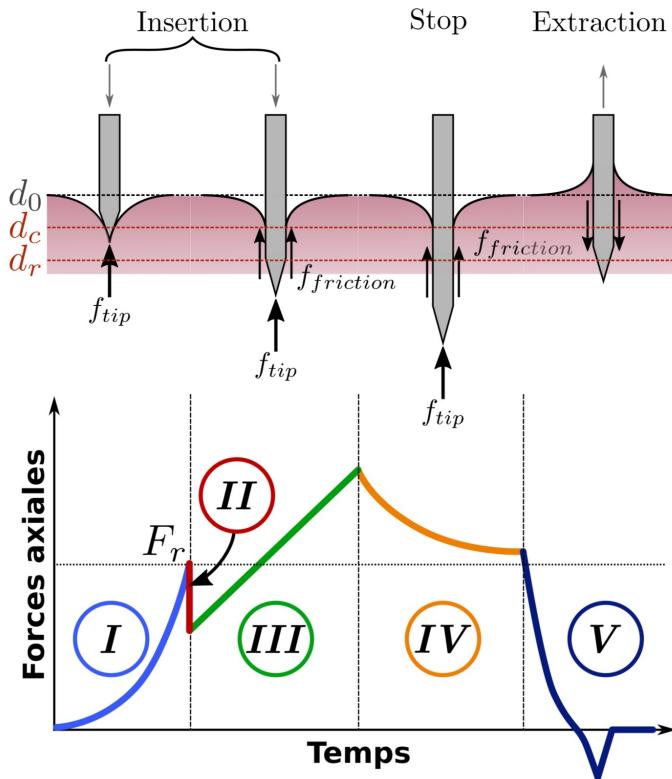
## Simulateur pour l'insertion d'aiguille – Système haptique



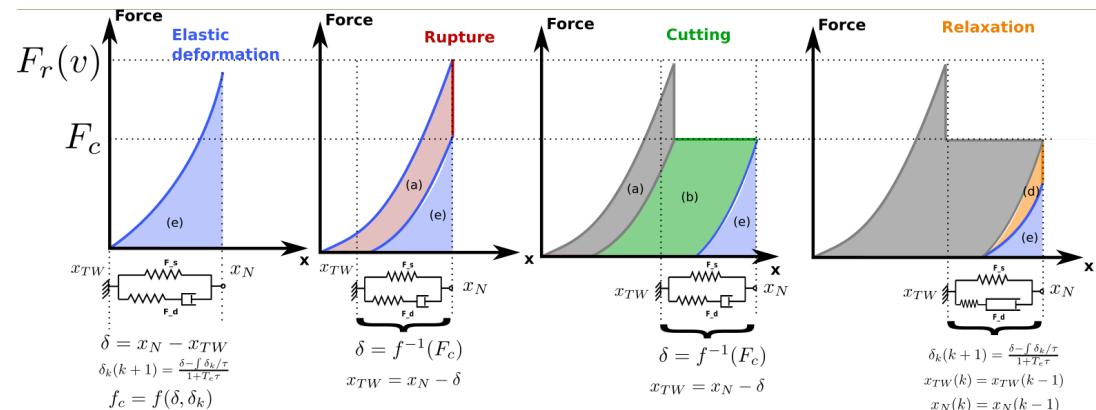
# Simulateur pour l'insertion d'aiguille en neurochirurgie

## 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



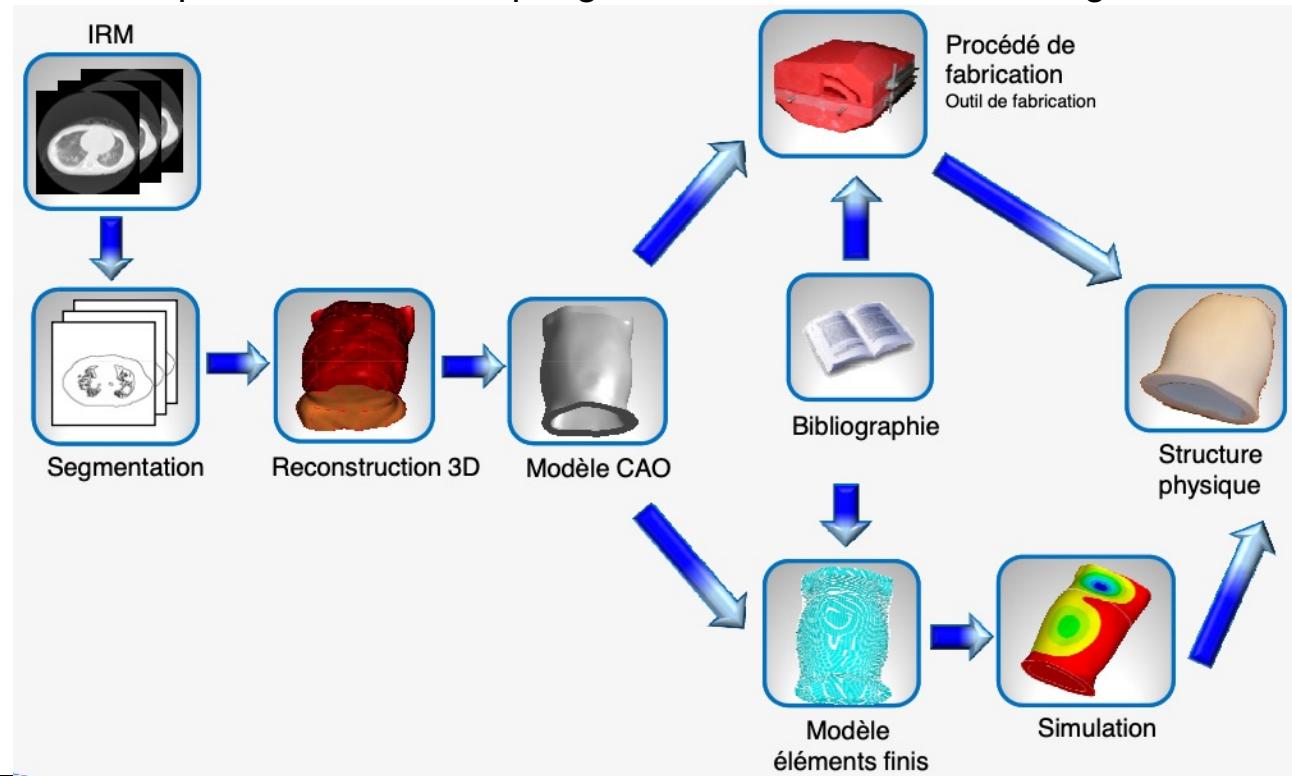
L'AFE (Augmentation du Flux Expiratoire) est une technique française de drainage bronchique, appliquée dans le cadre d'une prise en charge de type kiné respiratoire



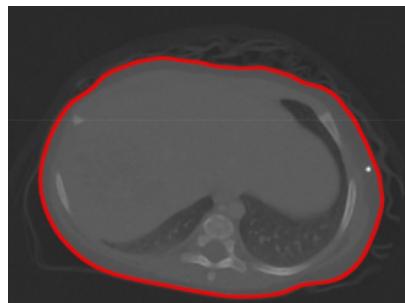
Présentation initiale des travaux

# 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



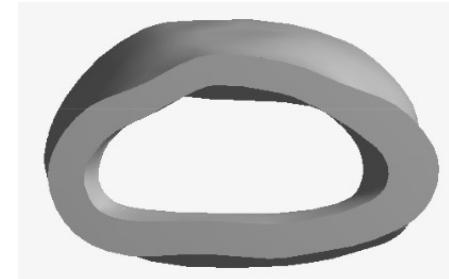
# Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire



IRM nourrisson de 6 mois



Modèle géométrique (NURBS)



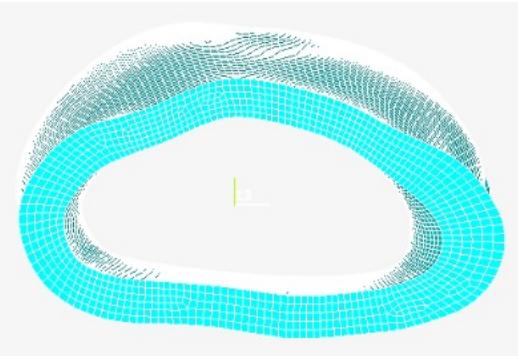
Modèle CAO



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

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

### Abdomen

Peu de données dans la littérature

Système déformable incompressible

➤ Élastomère

Paramètre	Valeur
E	Ethorax
$\nu$	0,49

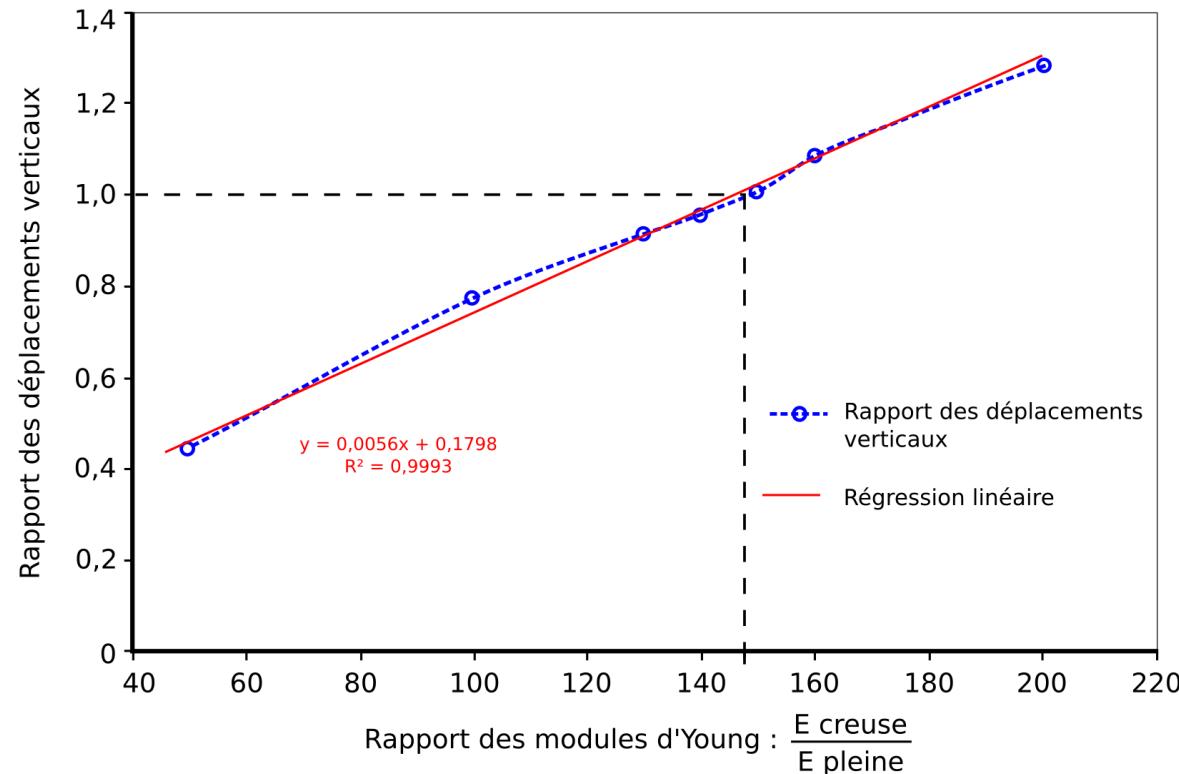
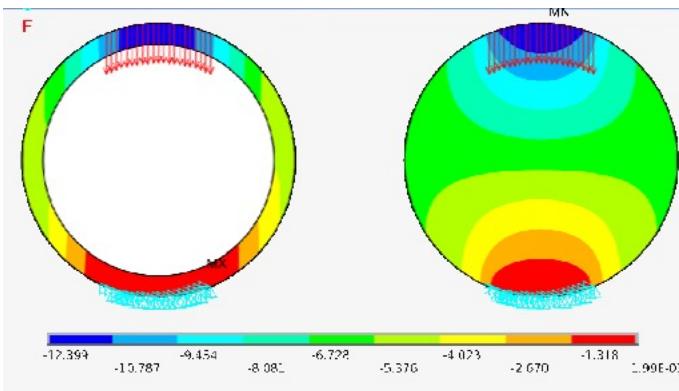
### Diaphragme

Fonction de transfert mécanique des pressions  
entre thorax et abdomen

➤ Polyéthylène

Paramètre	Valeur
E	500 MPa
$\nu$	0,4

### Comparaison des sections creuses et pleines sous charge verticale



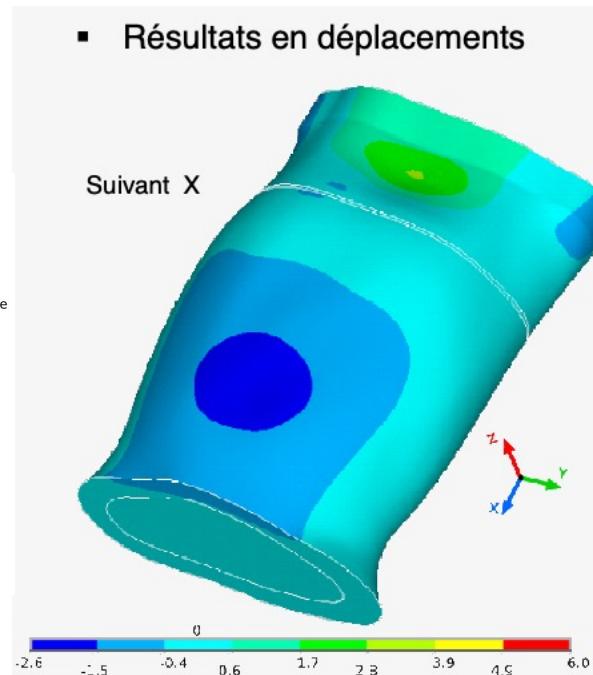
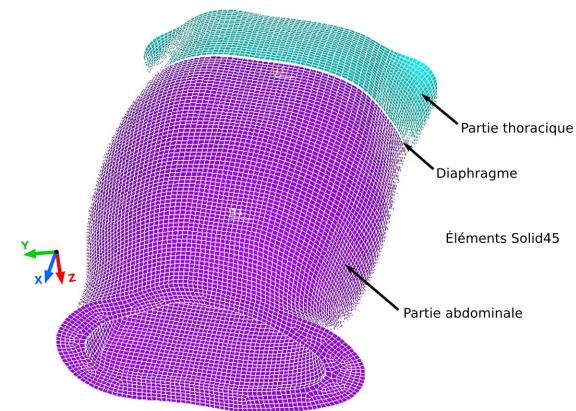
## Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire



# Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire

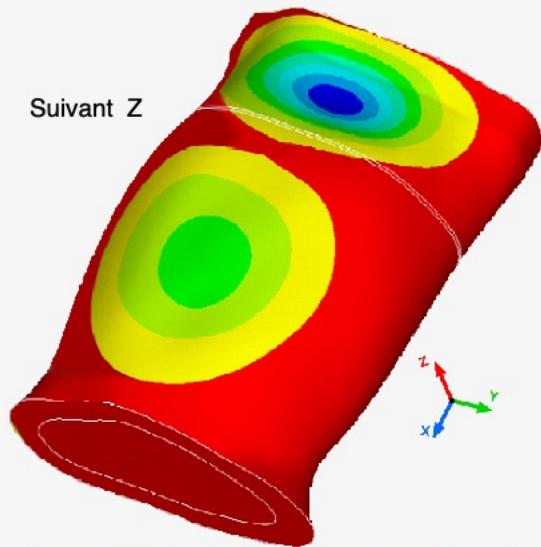
Simulation numérique

## ▪ Résultats en déplacements



Rapport des déplacements verticaux maxi

Zth	Simulation	Campagne de mesure
Zab	1,2	1,8

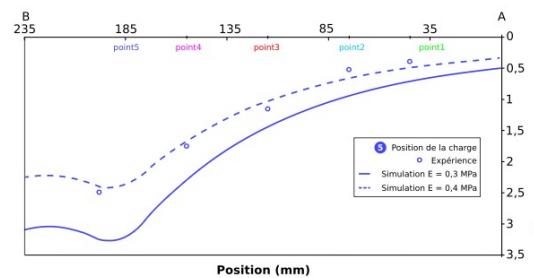
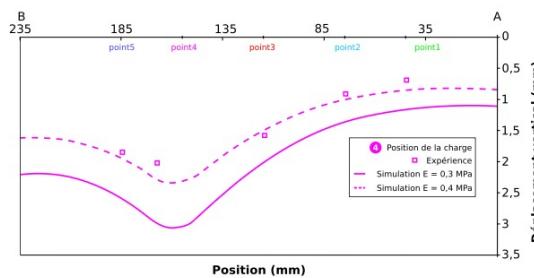
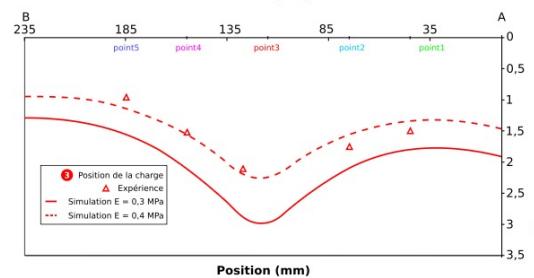
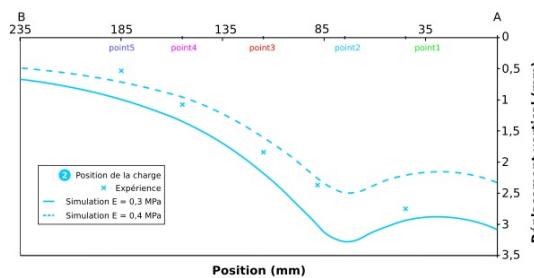
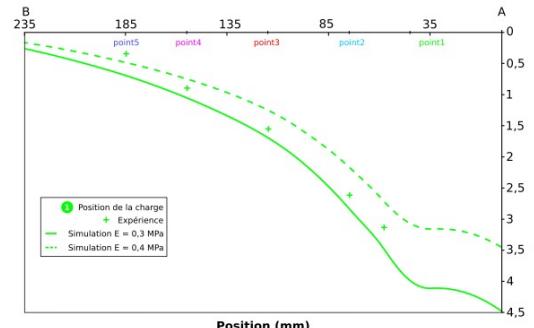
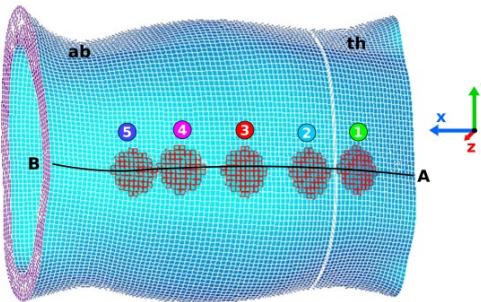


Rapport des déplacements verticaux maxi

Zth	Simulation	Campagne de mesure
Zab	2,9	3,0

# Simulateur pour le geste AFE en kinésithérapie respiratoire

## 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 scenarii pertinents pour l'apprentissage du geste médical

Le simulateur doit pouvoir reproduire ces scenarii

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

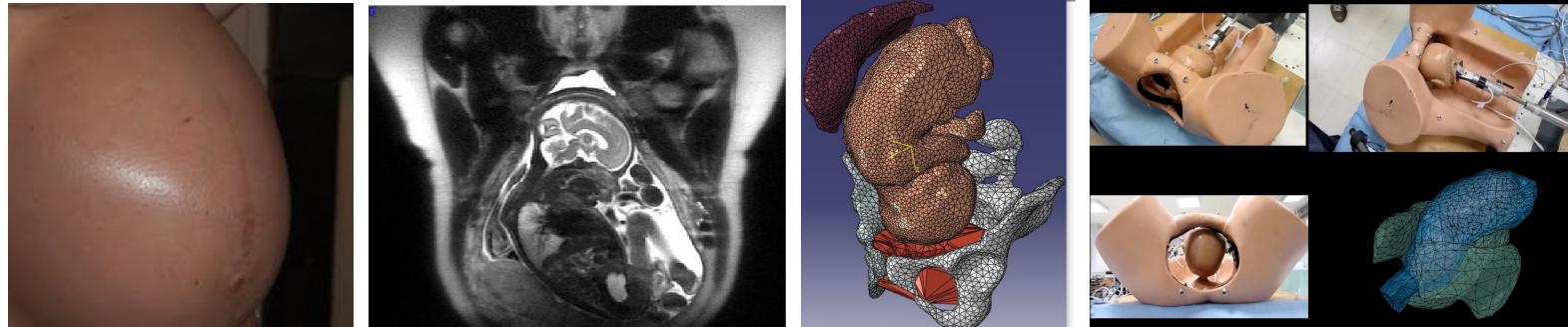
Mise en place de nouvelles méthodes d'évaluation du geste

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**

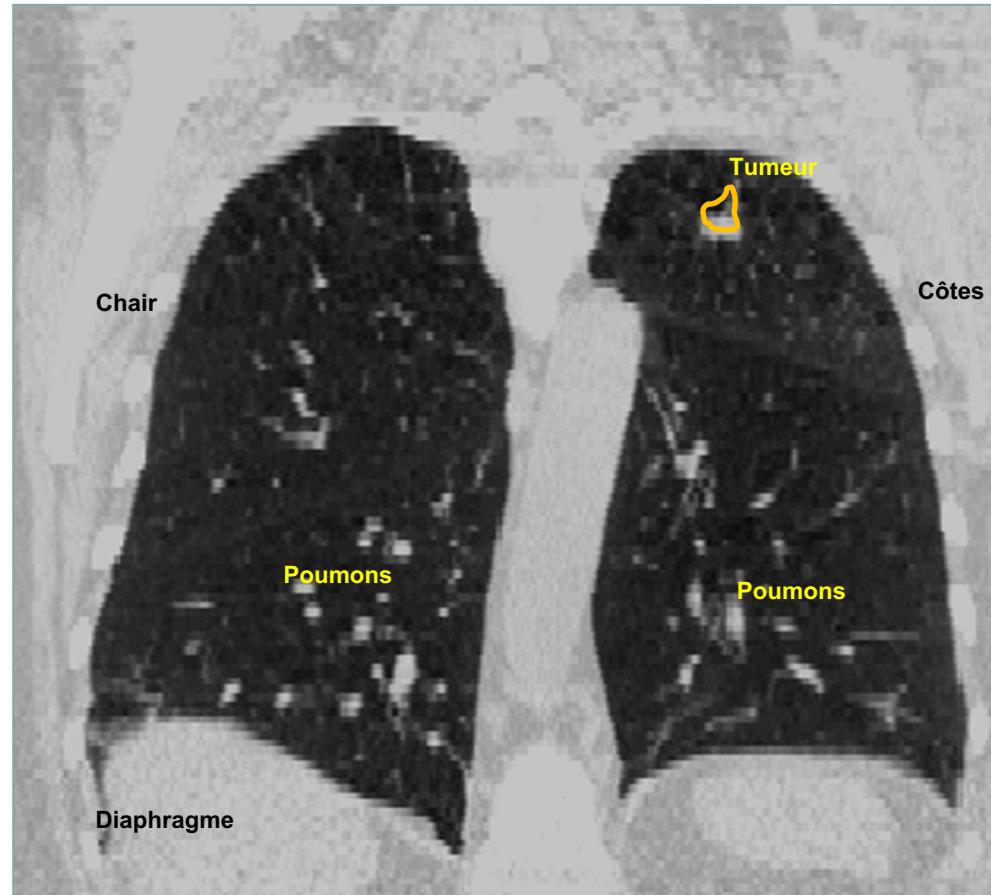
Objectif : Optimisation de la dose d'irradiation 4D pour limiter l'irradiation des tissus sains

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

Travaux de Hamid Ladjal, Behzad Shariat, Michael Beuve

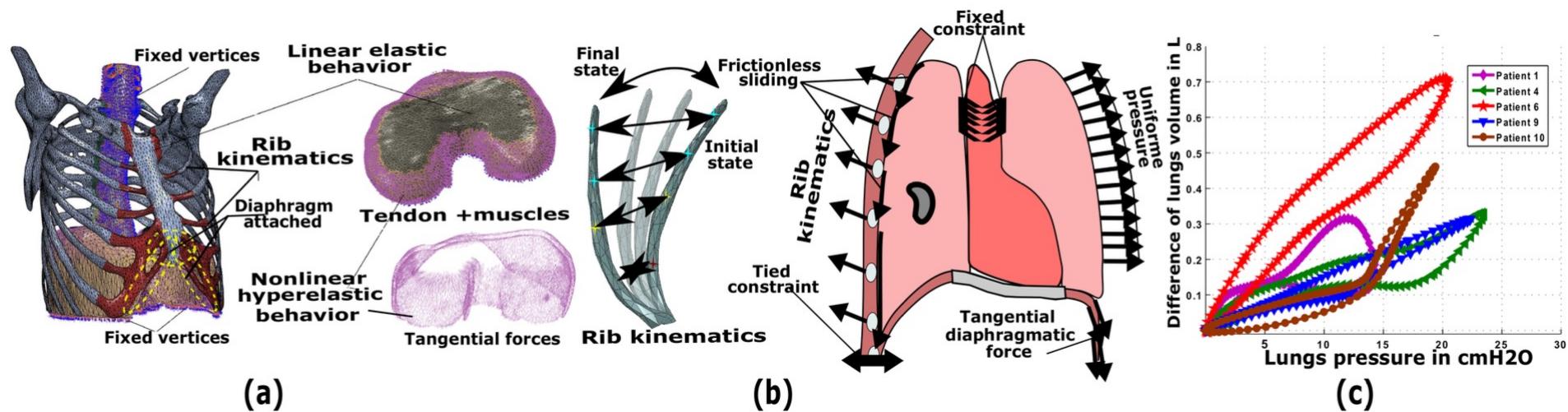


Difficultés : organes en mouvement



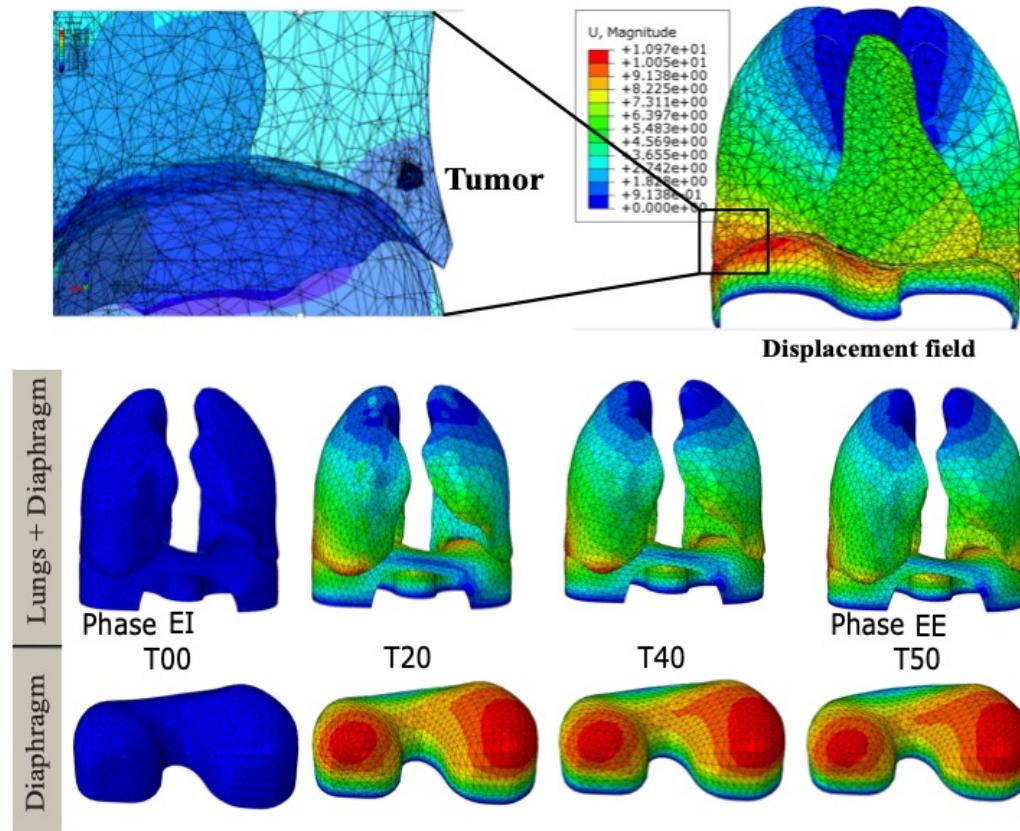
# Simulation appareil respiratoire pour améliorer le traitement cancer par hadronthérapie

## Modélisation biomécanique et physiologique du système respiratoire

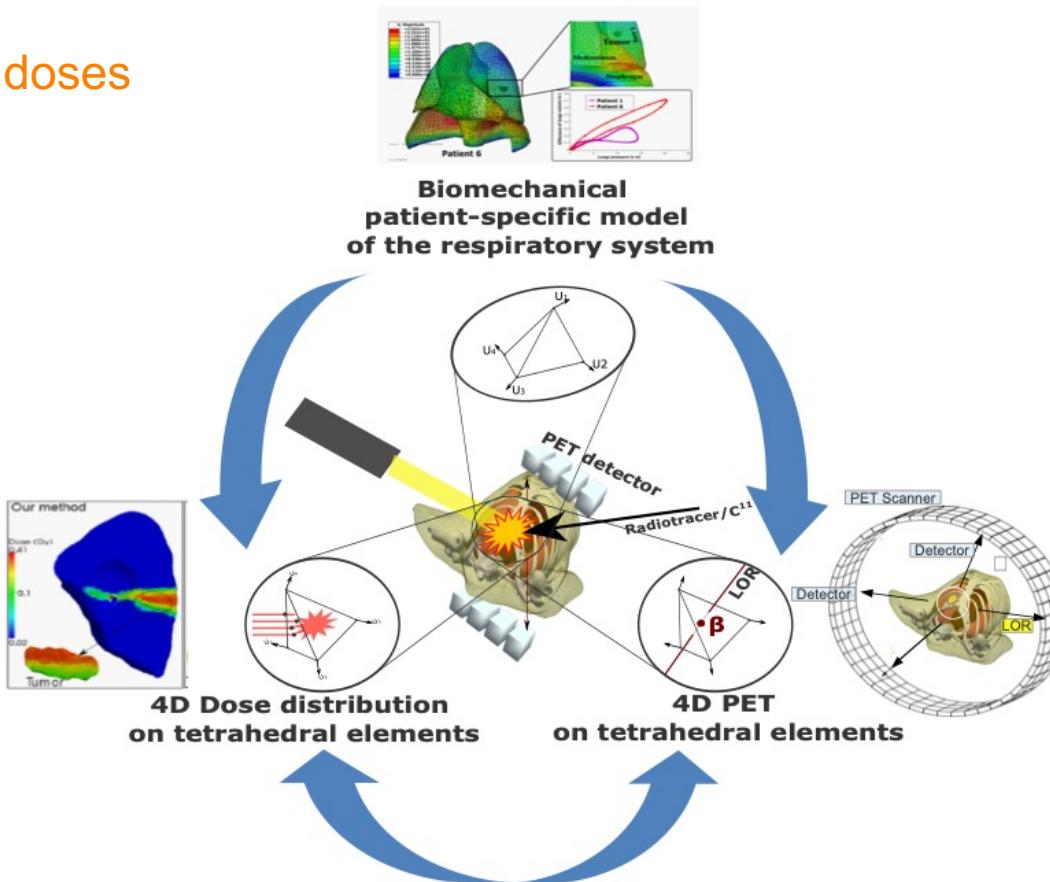


# Simulation appareil respiratoire pour améliorer le traitement cancer par hadronthérapie

## Simulation numérique (Abaqus)

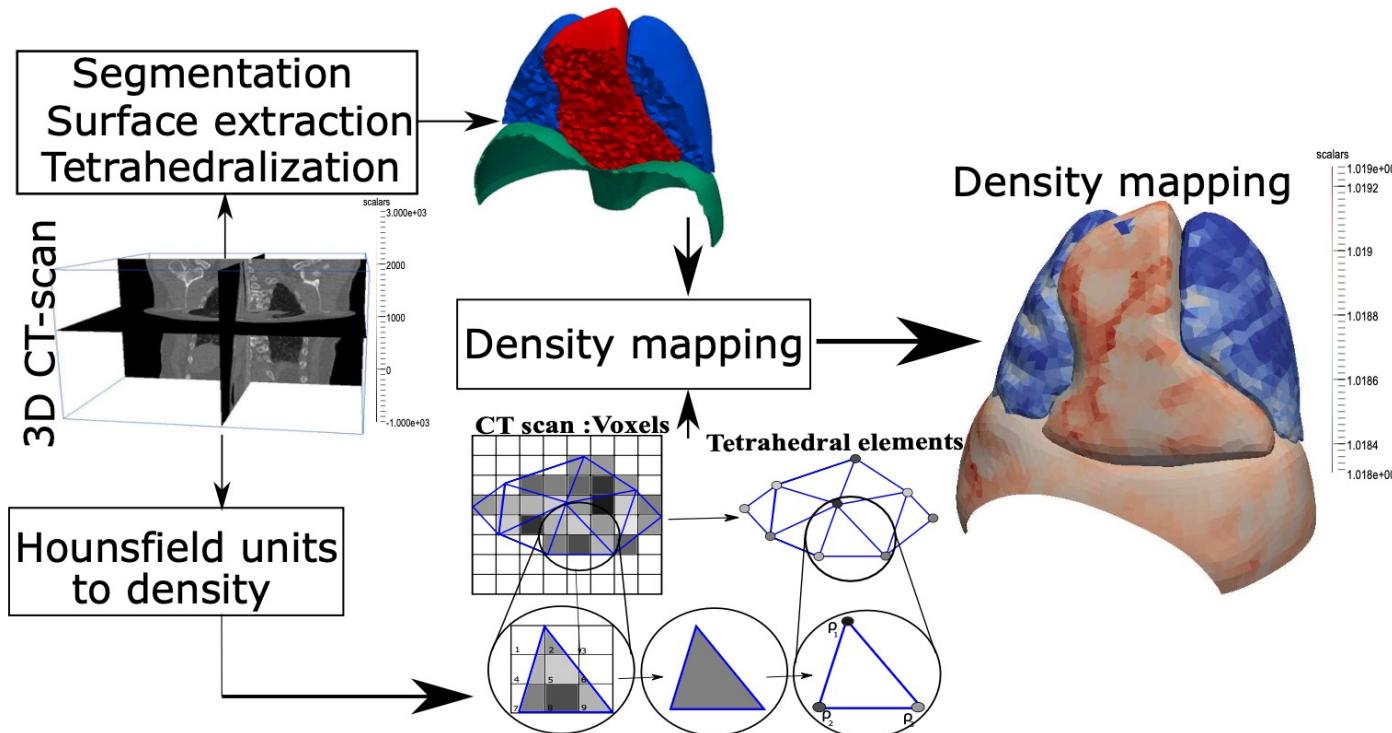


## Calcul du dépôt de doses



# 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