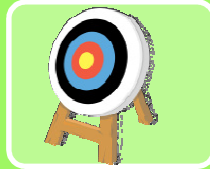


# Modélisation d'un torse de nourrisson pour la simulation de son comportement global sous le geste AFE en kinésithérapie respiratoire

Luc Maréchal – SYMME

Christine Barthod – SYMME





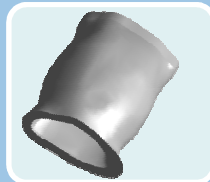
1

Contexte et Objectifs



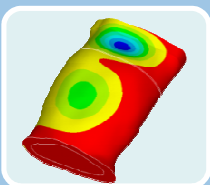
2

Démarche de conception du simulateur



3

Modélisation du torse



4

Simulations numériques

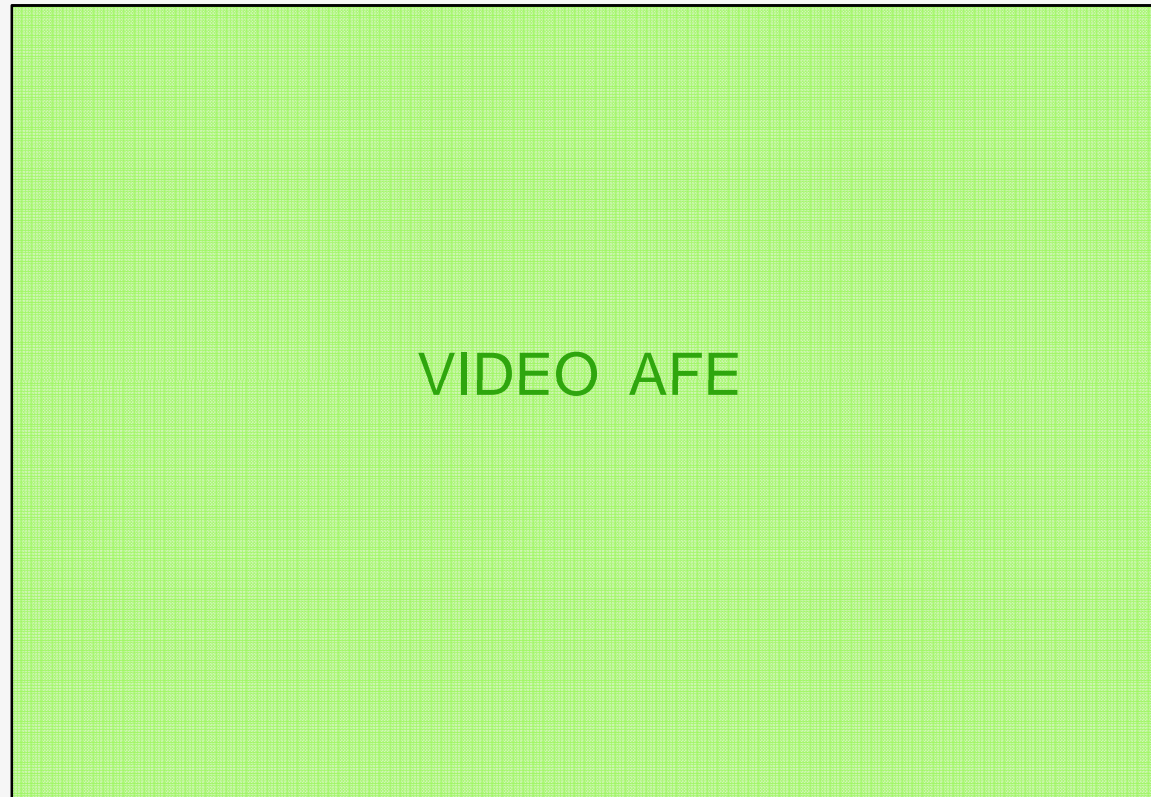


5

Réalisations et Perspectives

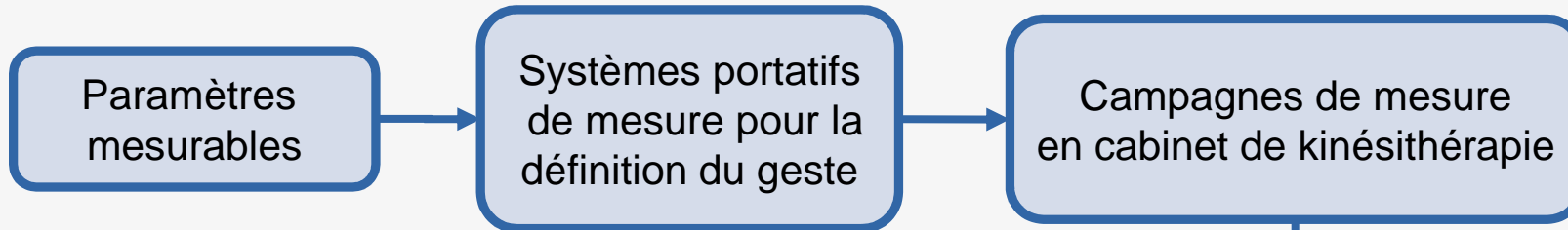


- Le geste AFE

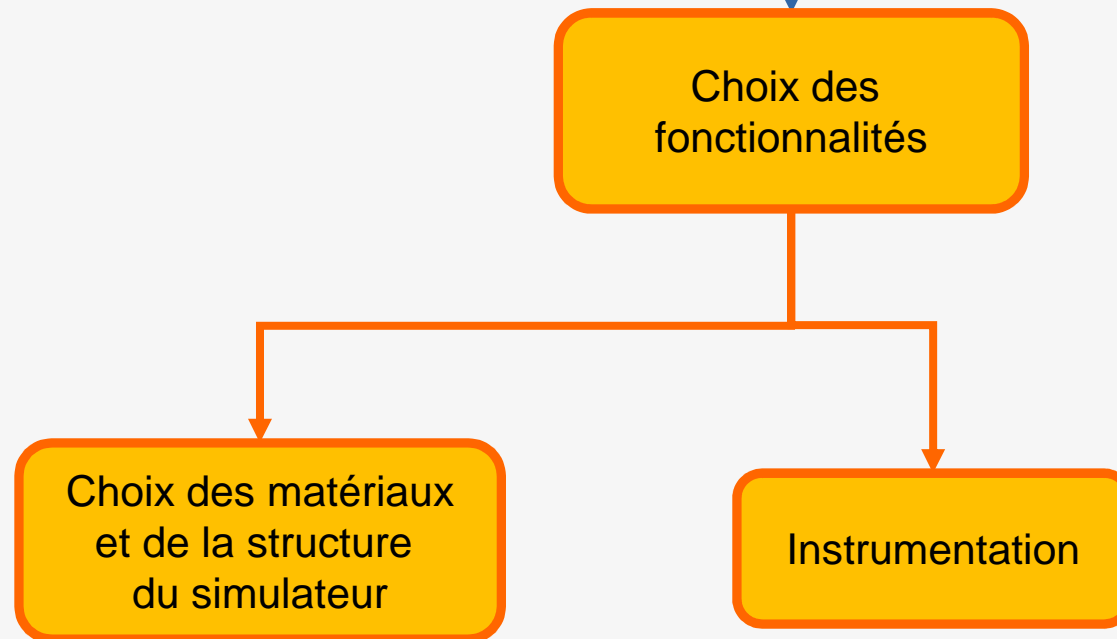




## ● Moyens de mesures



## ● Simulateur





### Transposition

- Transformer une situation de travail en une situation didactique
- Simulateur spécifique : Pertinence? Niveau de modélisation ?



*Ce n'est pas forcément la réalité*

- Représenter uniquement les fonctionnalités issues de la pratique professionnelle



Réalisation d'un torse physique de nourrisson  
Comportement mécanique global sous le geste d'AFE



### Environnement d'apprentissage souhaité

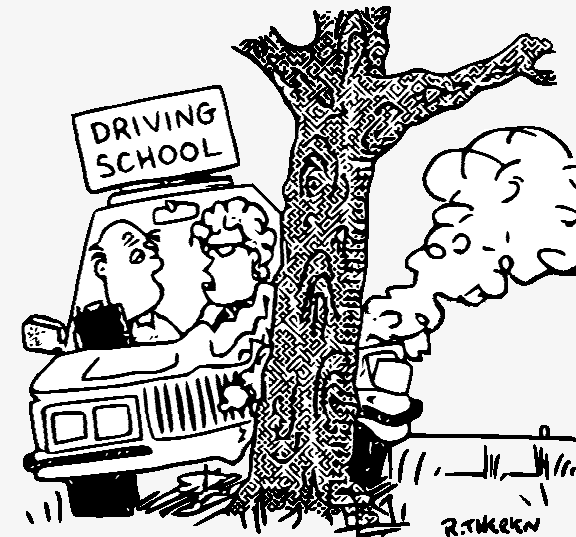
- Geste **non contraint**. Mais le formateur doit superviser la séance.



- **Liberté complète de mouvements possible** (pas de guidage) ...

... Mais ...

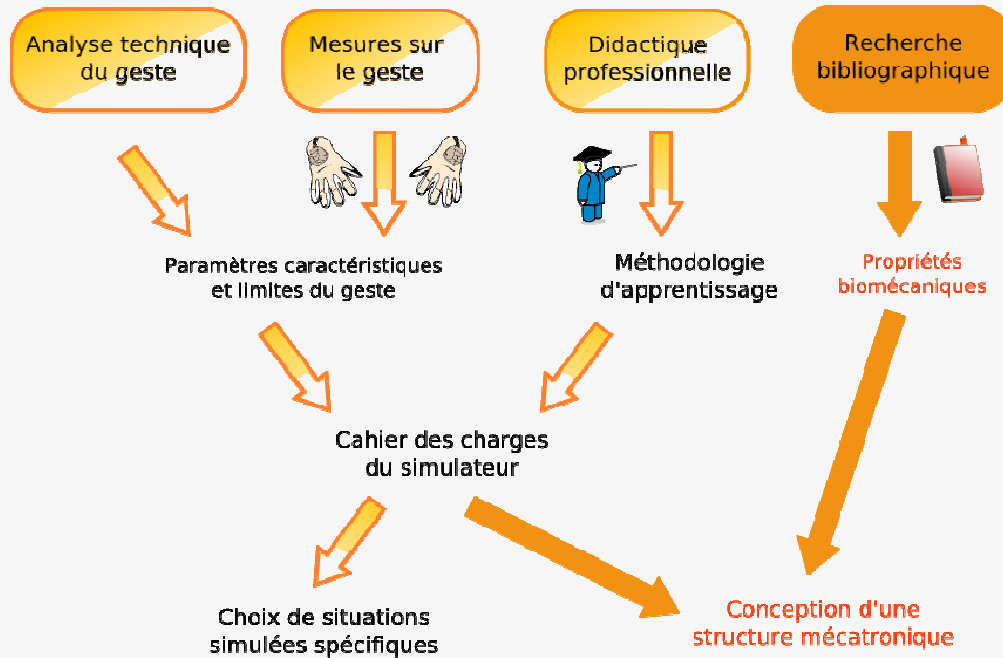
- Génération d'**alarmes** en cas de geste inefficace ou dangereux.



"You call that teaching?"



### ● Approche mécatronique globale de conception

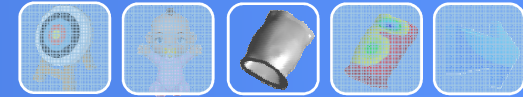


- Conception d'une structure mécatronique

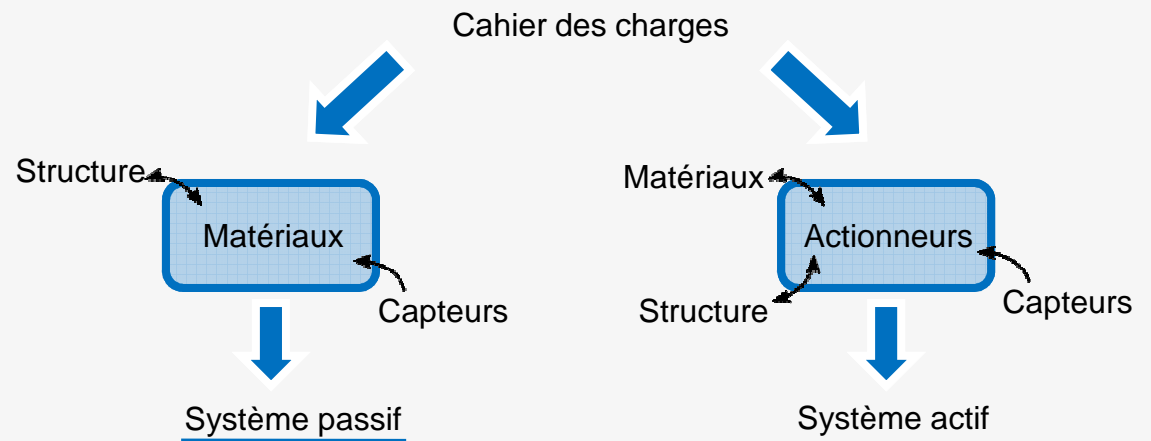
Structure physique avec une réponse mécanique globale proche du vrai comportement

Instrumentation de la structure

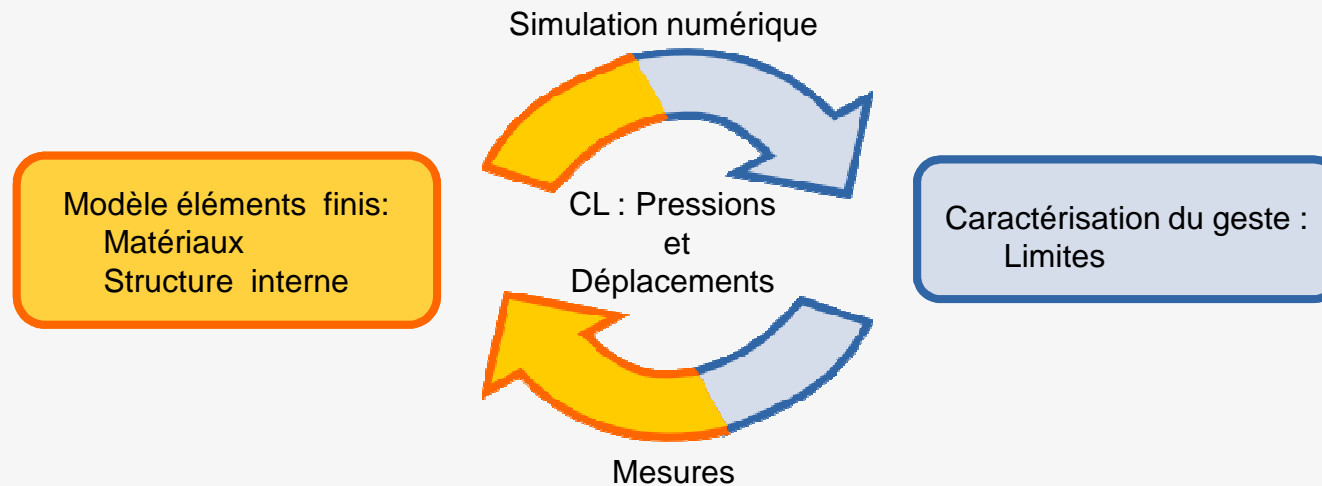
L. Maréchal, C. Barthod, J. Lottin, G. Gautier and J. C. Jeulin, "Mechatronic Approach for the Definition of Future Functionalities for a Torso Simulator" 7th France - Japan Congress, 5th Europe - Asia Congress on Mechatronics, Le Grand Bornand, France, May 21-23, 2008.



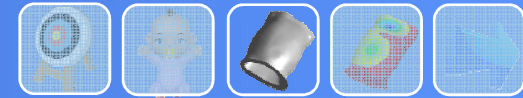
Choix de conception :



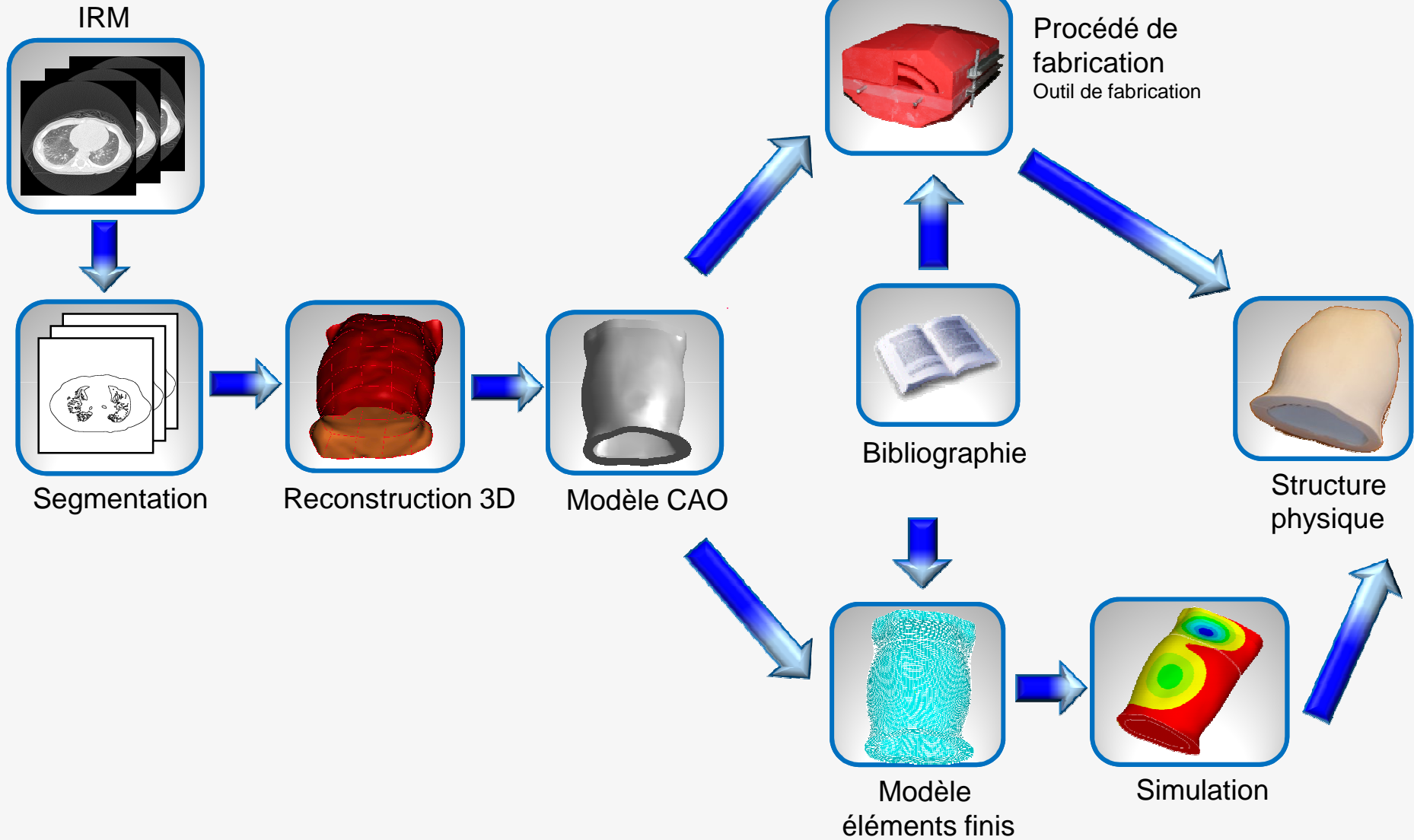
Démarche essai-erreur

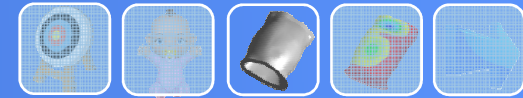




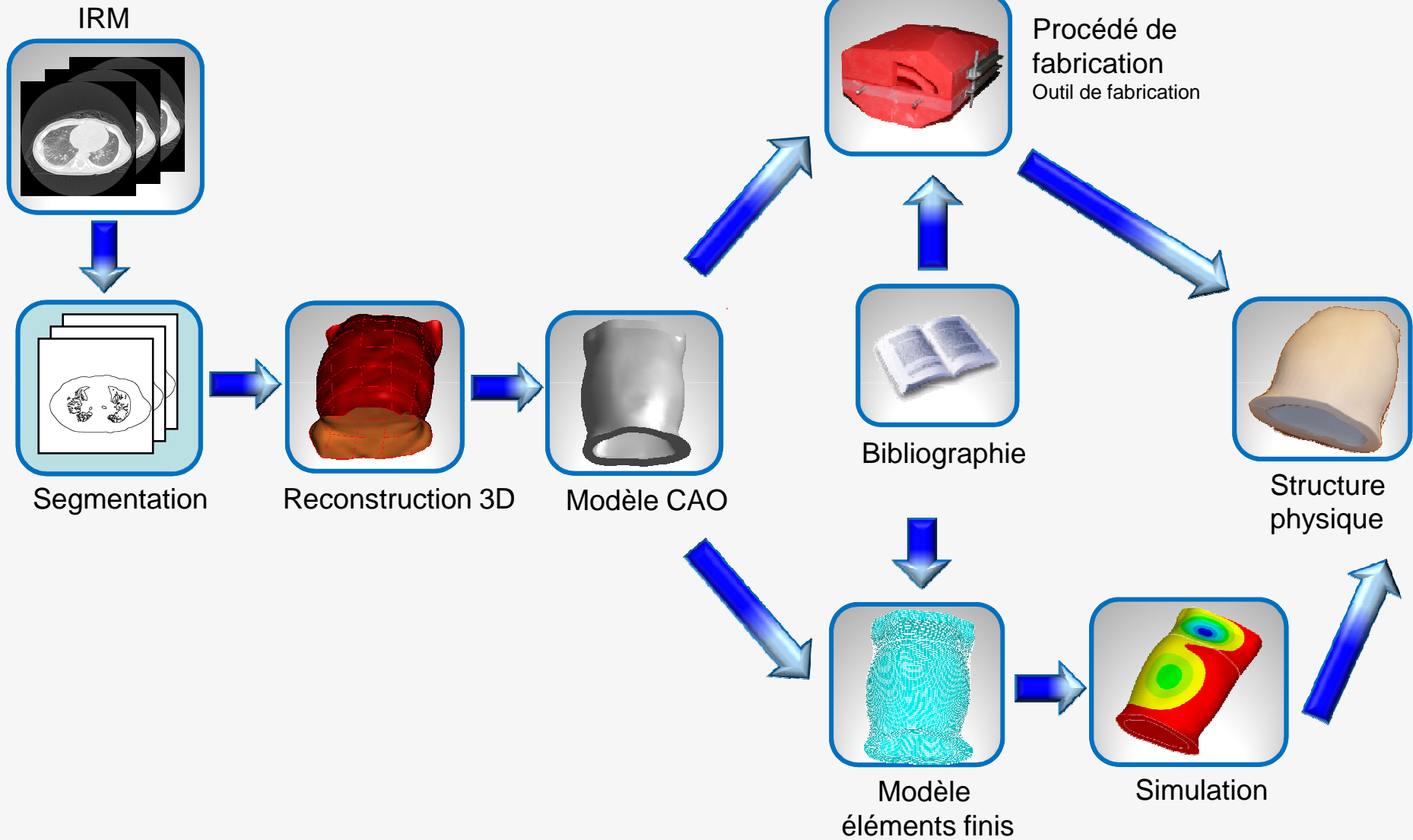


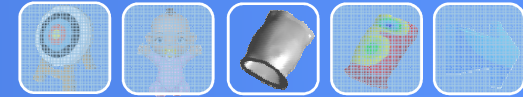
## Modélisation du torse





## Modélisation du torse





## Reconstruction d'un torse à partir d'IRM



Nourrisson de 6 mois

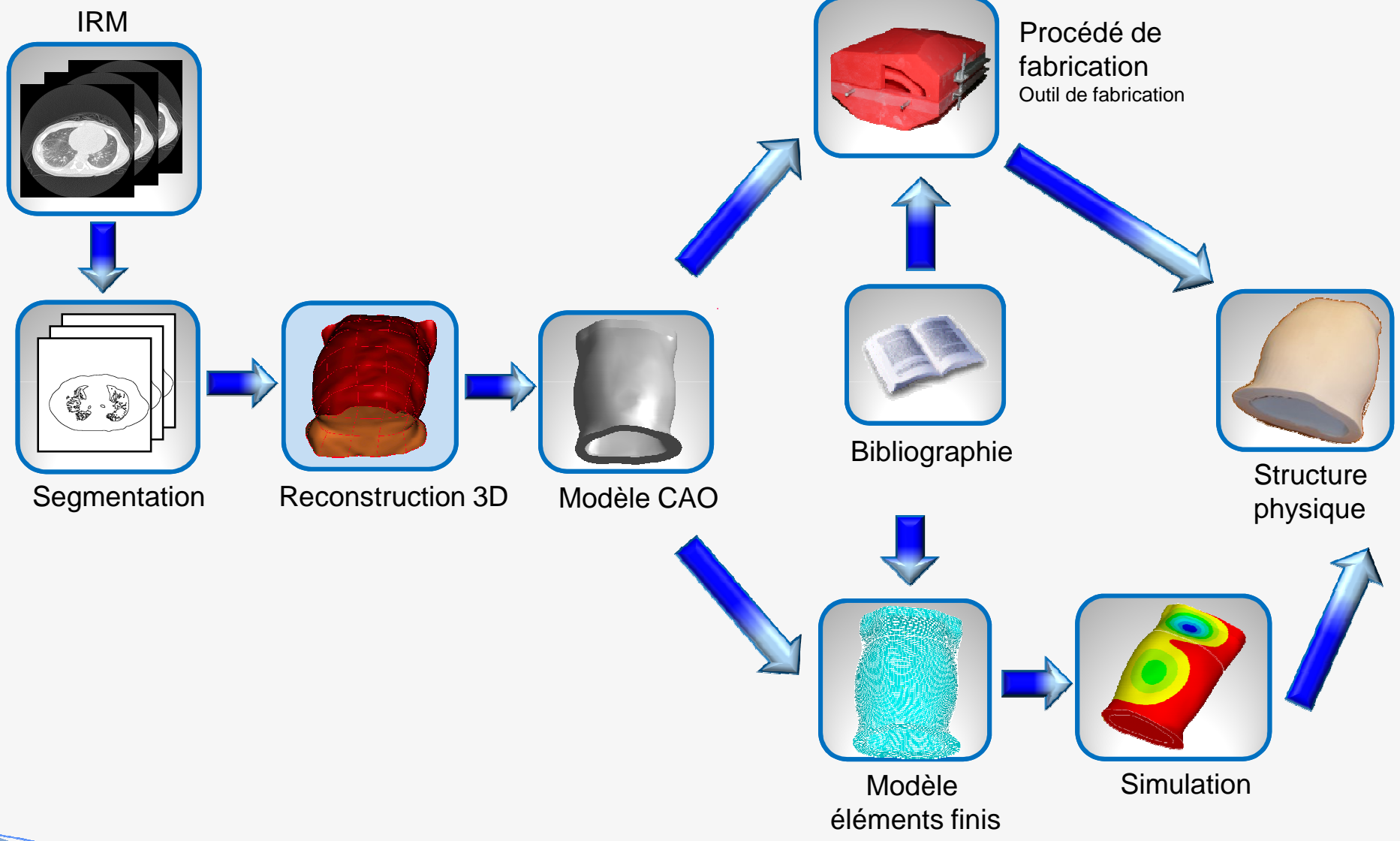


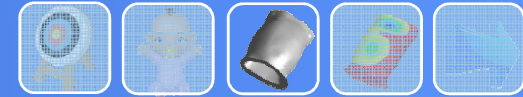
Hôpitaux de Paris

Danièle Pariente

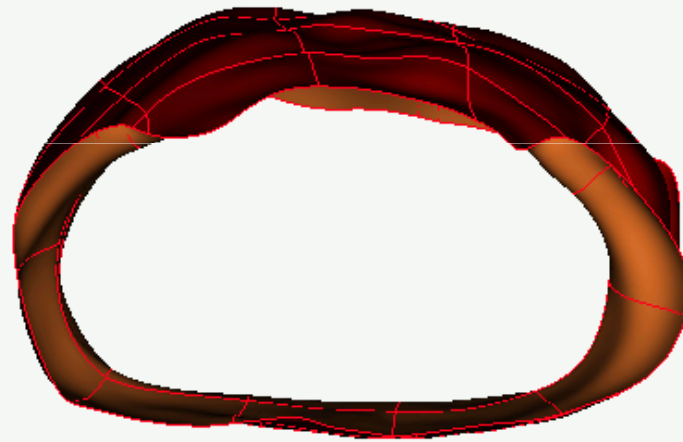


## Modélisation du torse

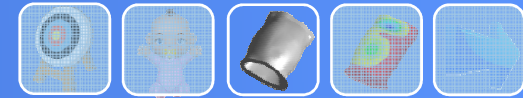




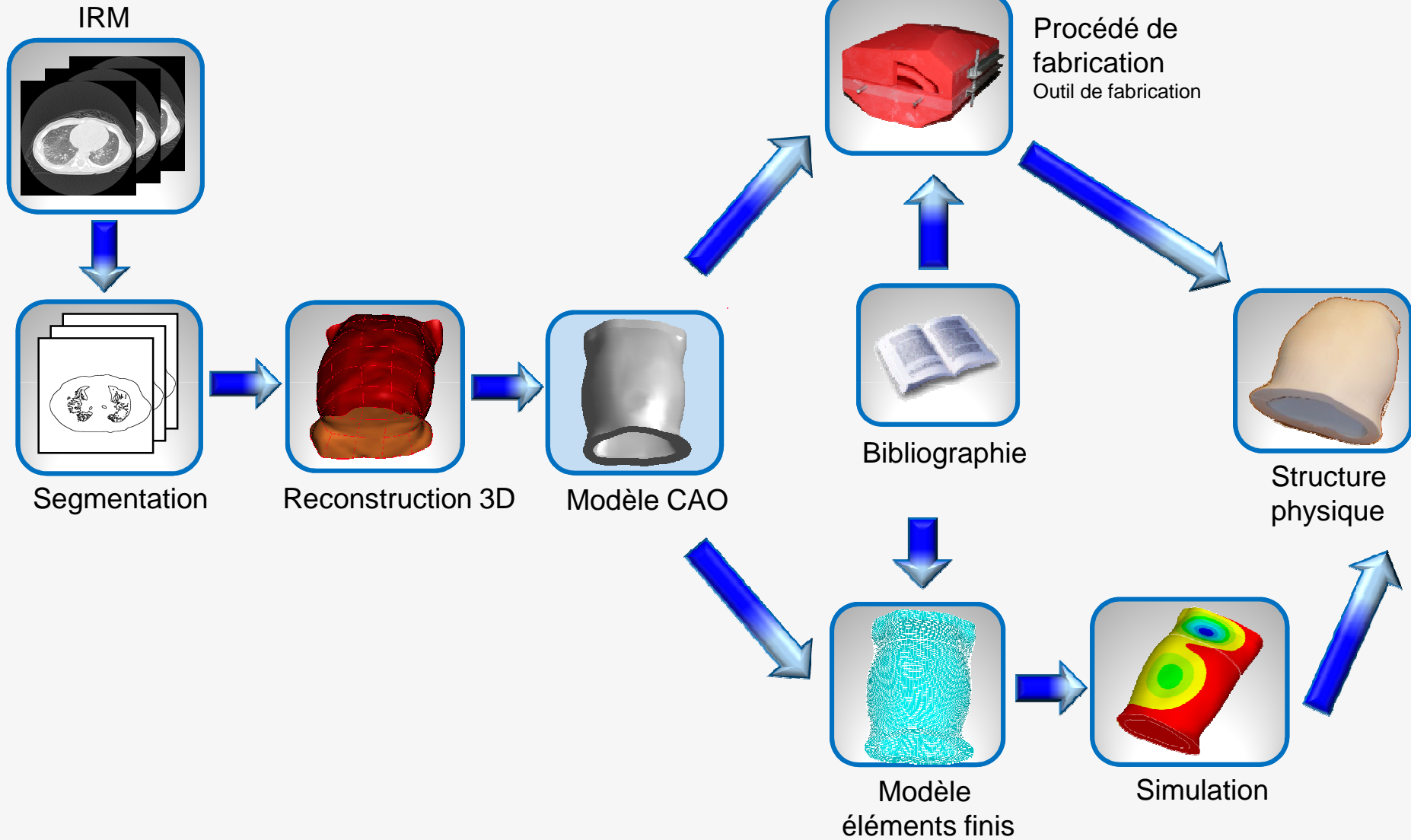
Modèle enveloppe reconstruit

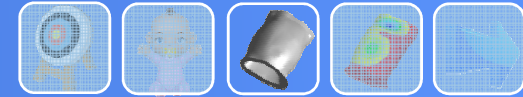


Surfaces NURBS

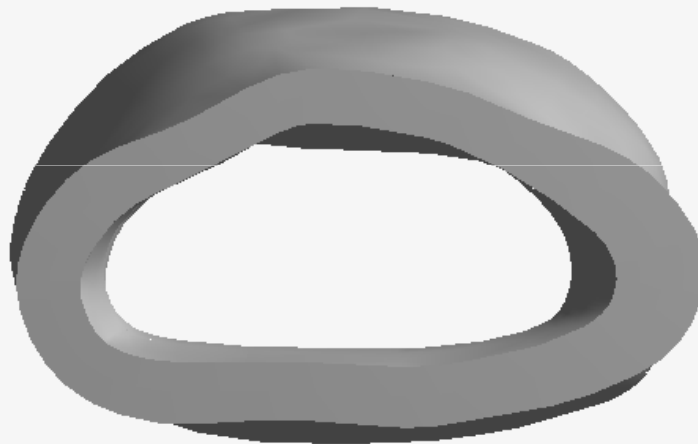


## Modélisation du torse





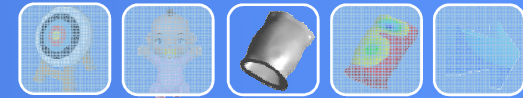
## Choix de conception



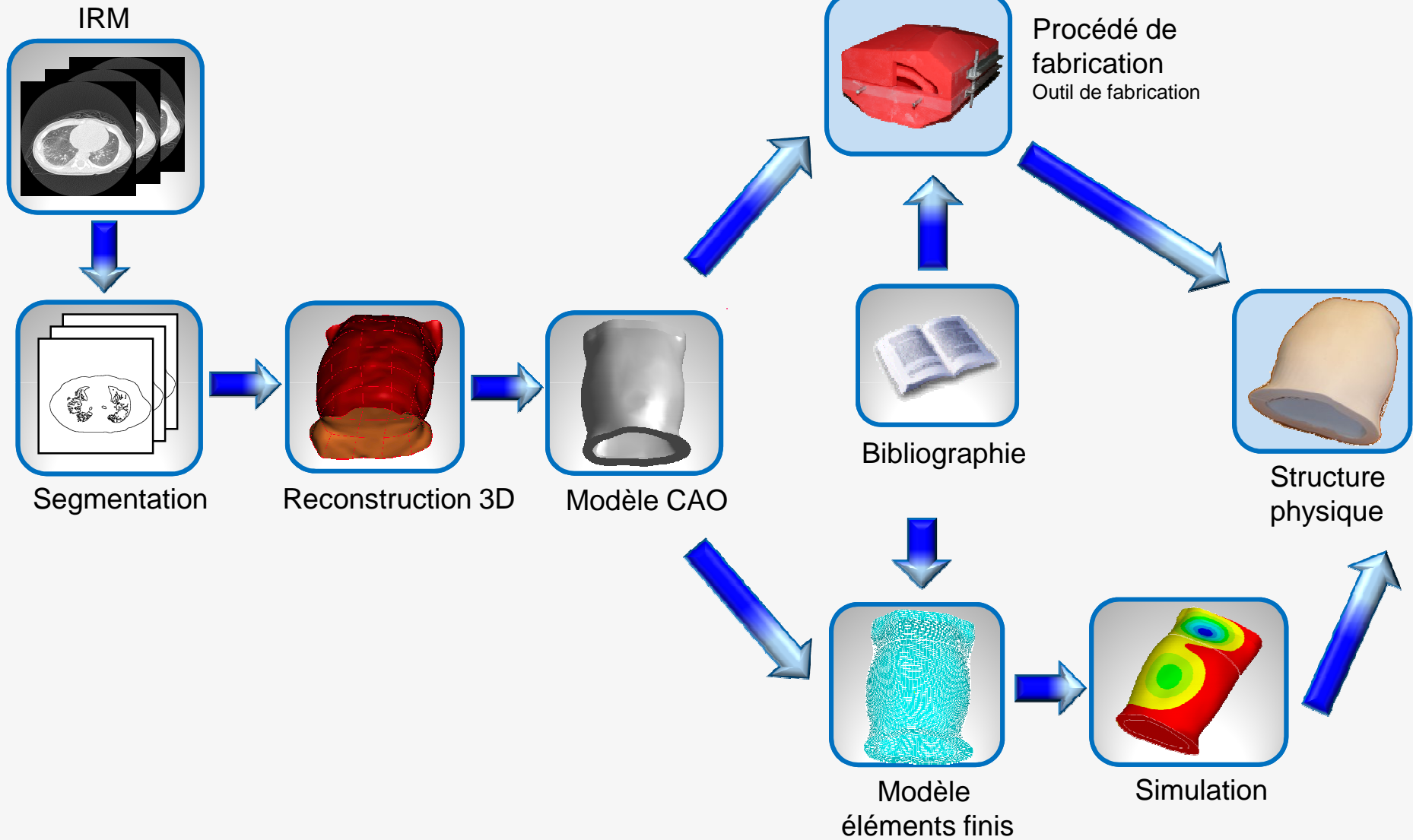
Structure creuse

Épaisseur 15 mm

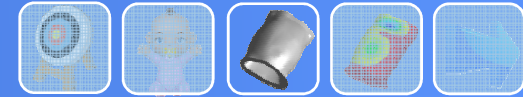
Instrumentation embarquée



## Modélisation du torse







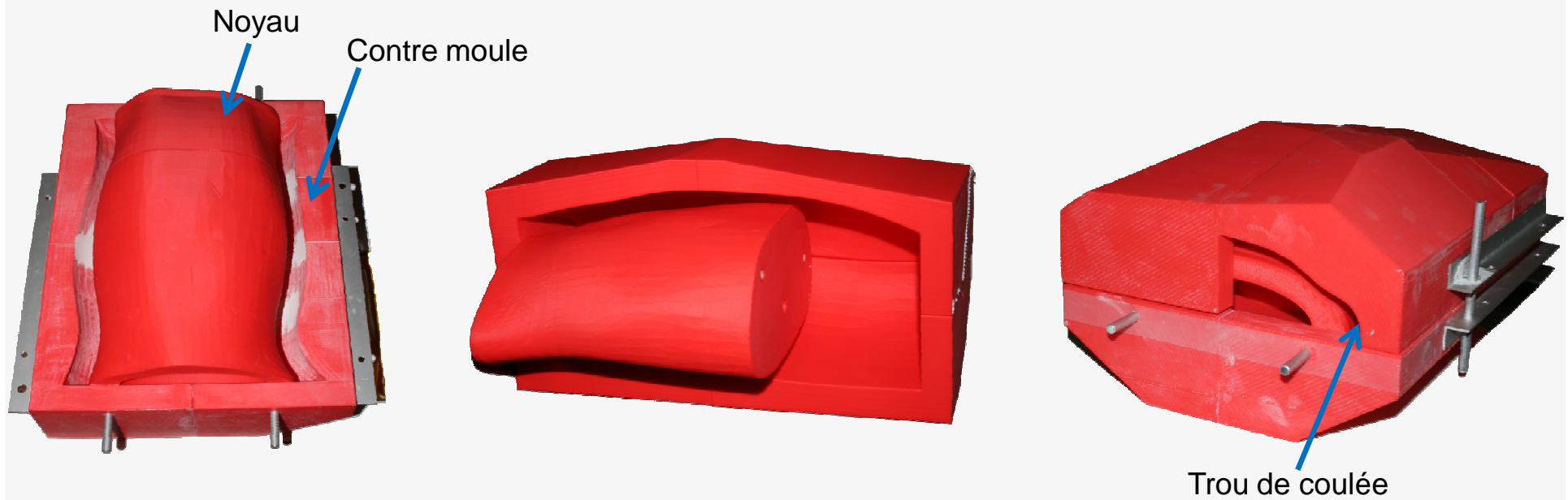
## Choix de fabrication

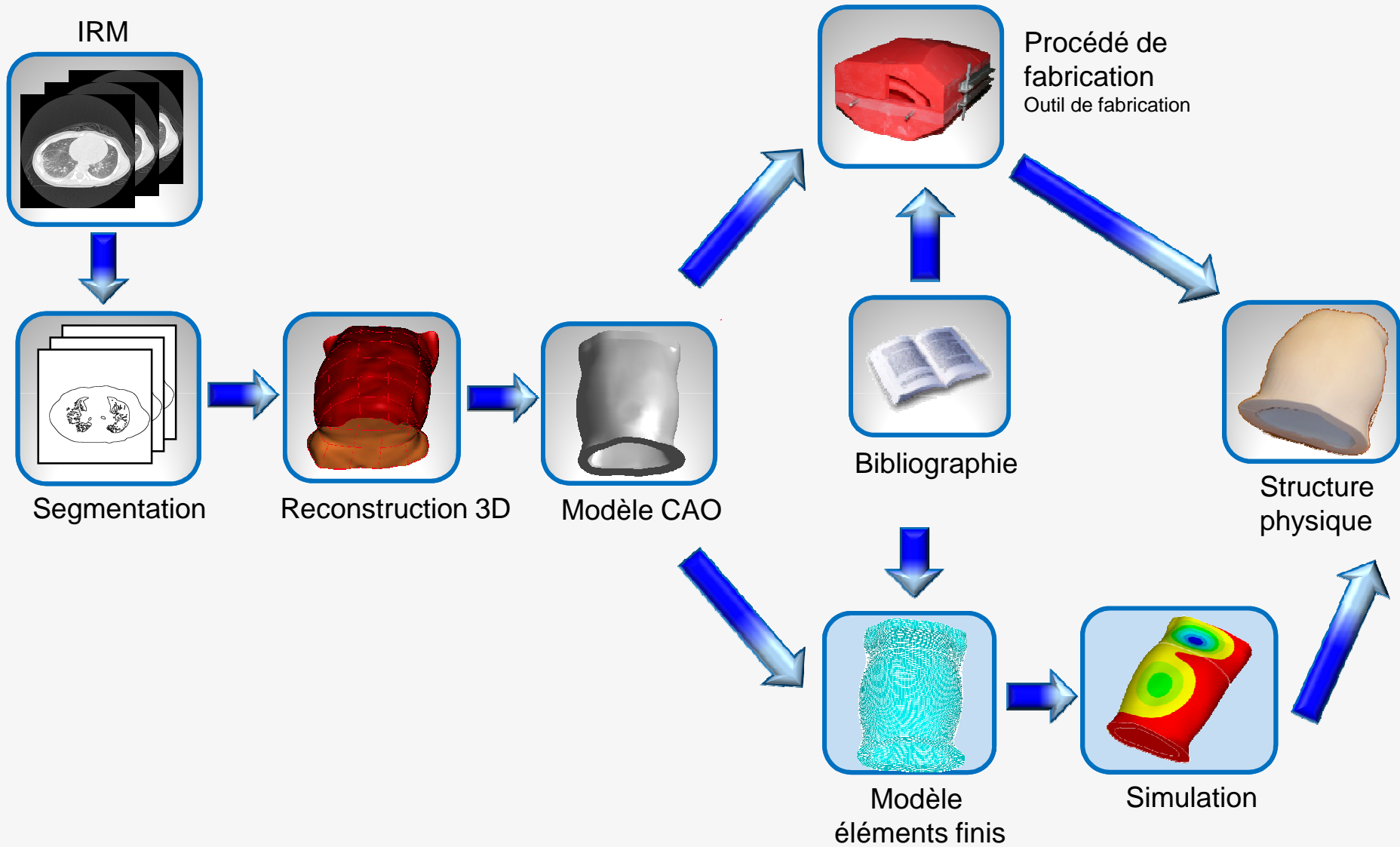
Coût

Facilité de reproduction

Matériaux coulables

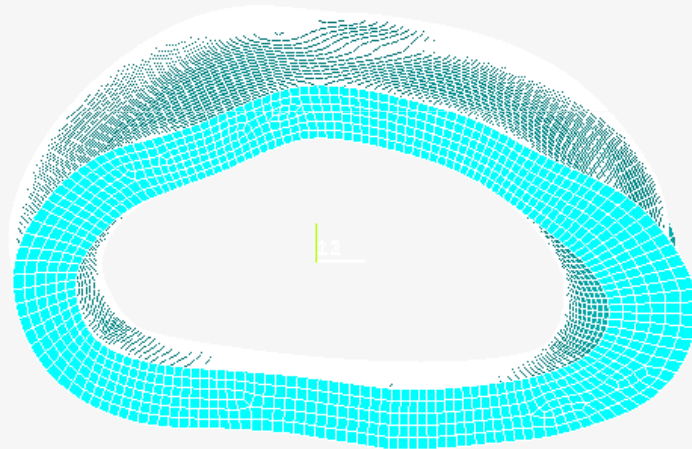
- Moule réalisé en prototypage rapide



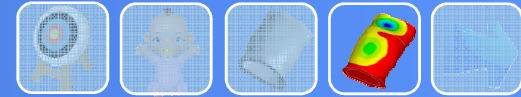




## Modèle éléments finis



- Maillage 3D  
Solid45 hexaèdres



## Choix des matériaux

- 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

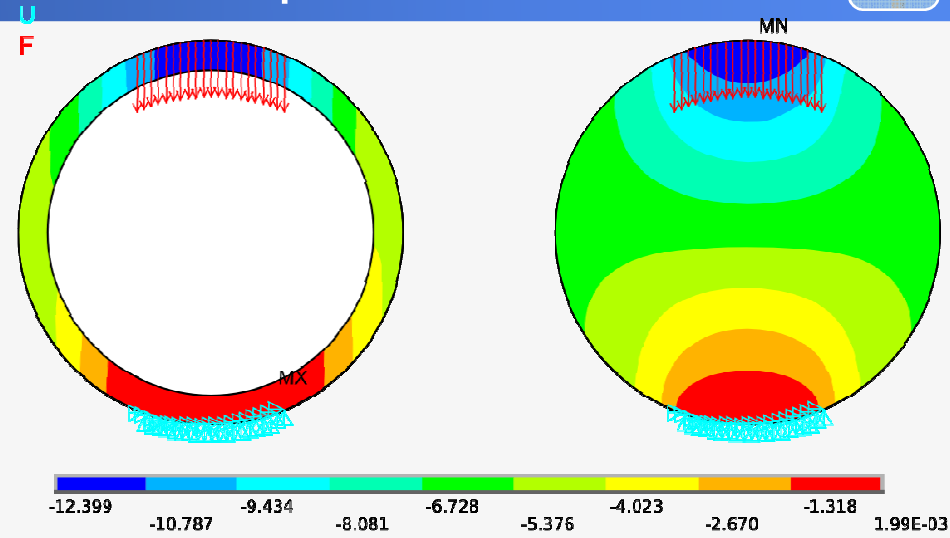
- Diaphragme  
Fonction de transfert mécanique des pressions  
entre thorax et abdomen

- Polyéthylène

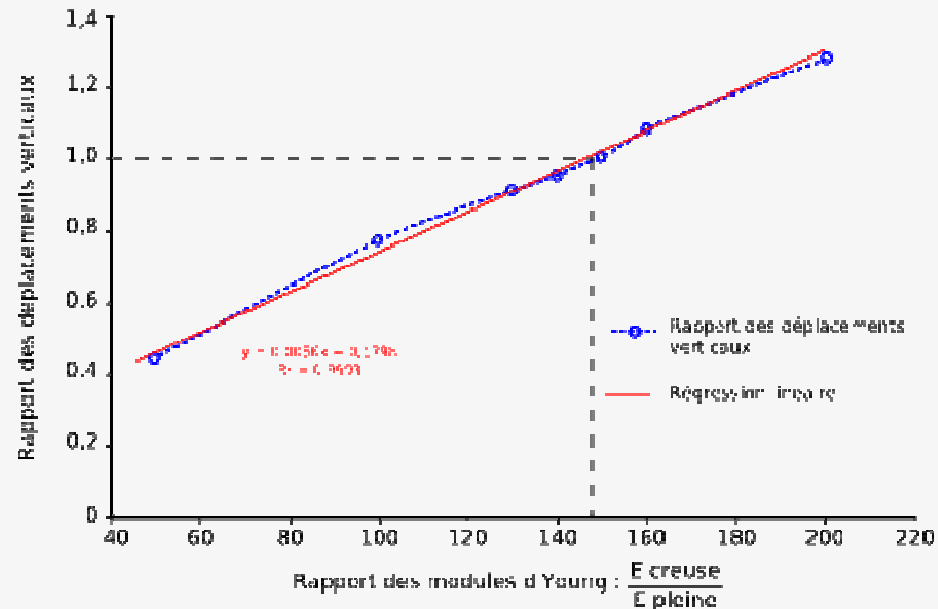
Paramètre	Valeur
C	30 – 45 mL.kPa-1
$\nu$	0,3
$V_i$	200 mL
E	6 - 8 kPa

Paramètre	Valeur
E	Ethorax
$\nu$	0,49

Paramètre	Valeur
E	500 MPa
$\nu$	0,4



Comparaison des sections creuses et pleine sous charge verticale





## Prototype

- Structure 1  
validation des conditions aux limites simples

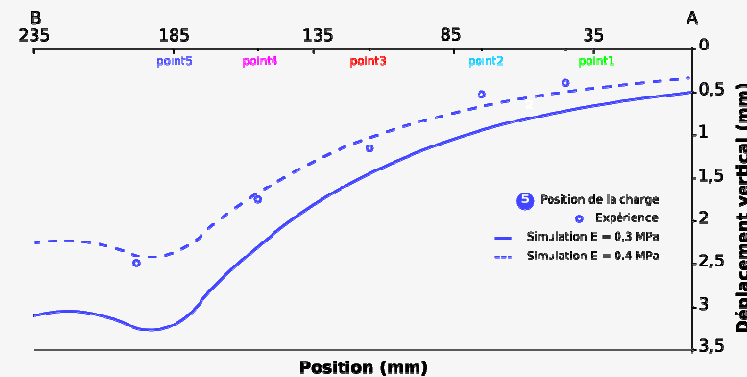
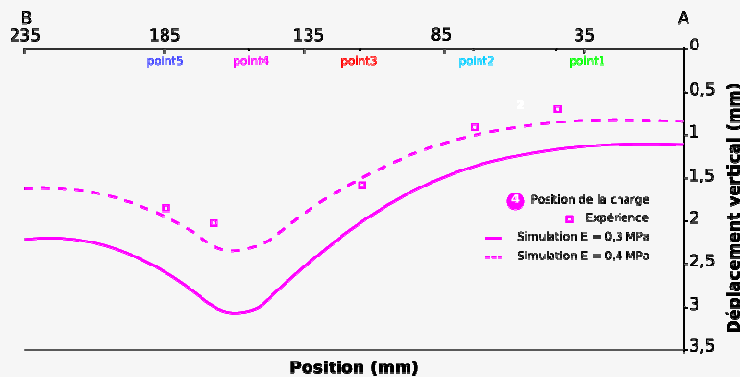
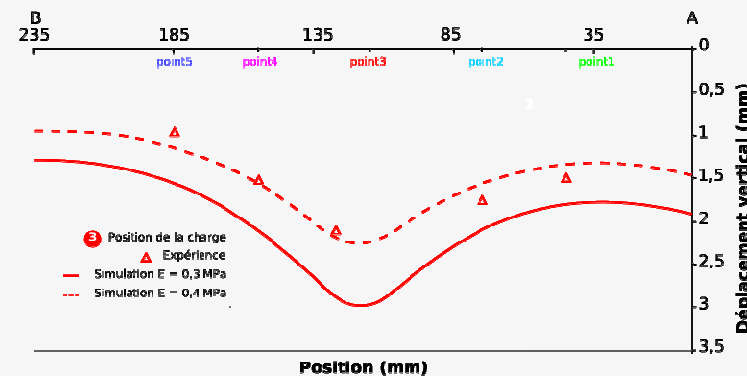
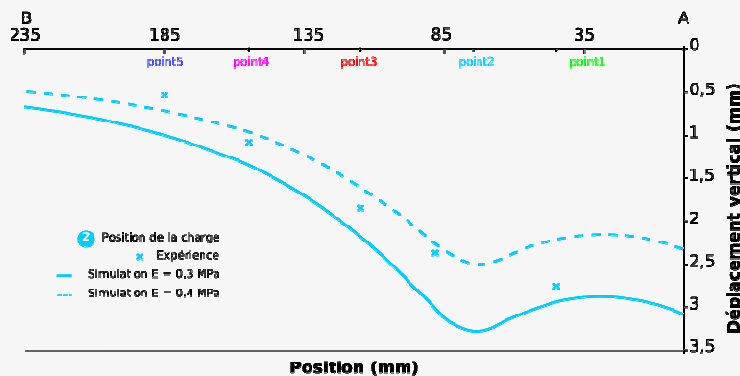
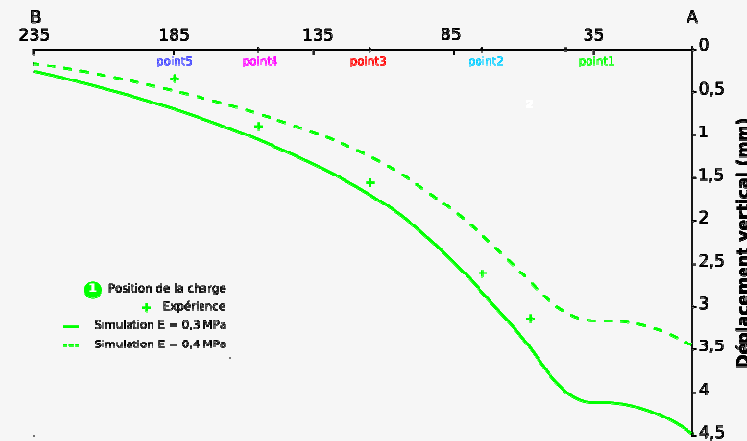
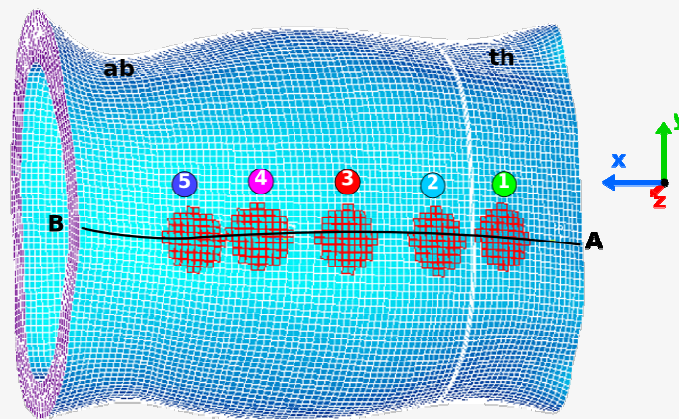
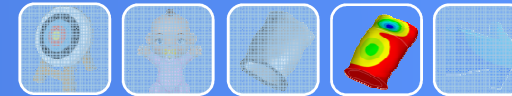


Matériau :  
Caoutchouc Silicone SICOVOS





# 4 – Simulations numériques

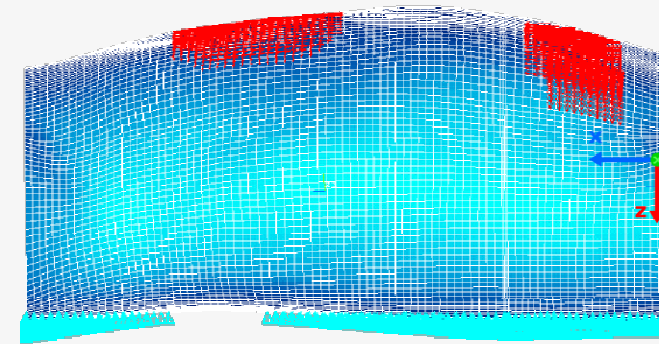
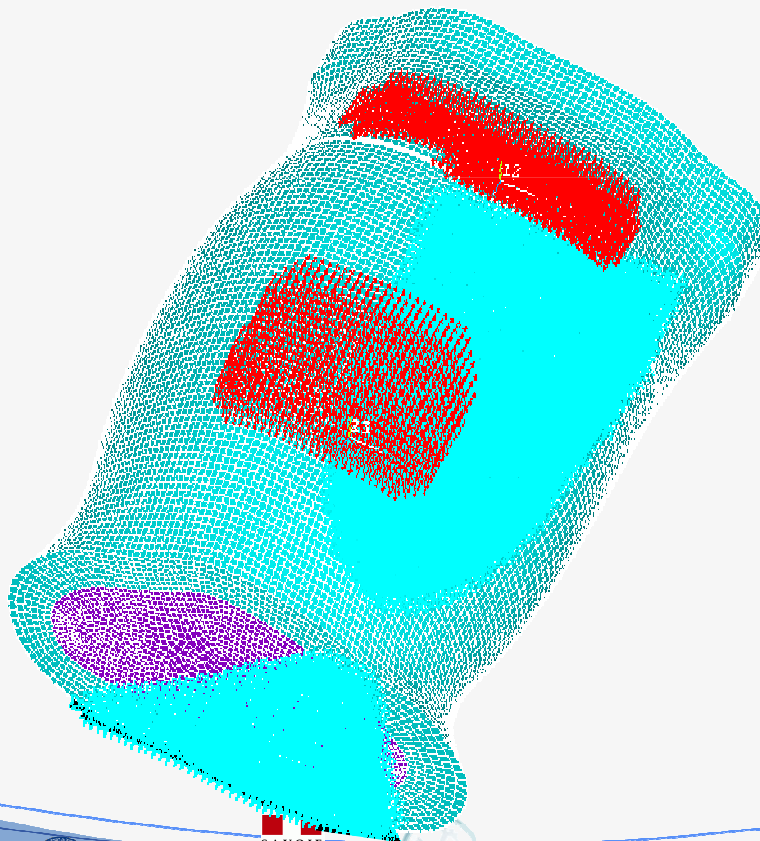






## Simulations éléments finis

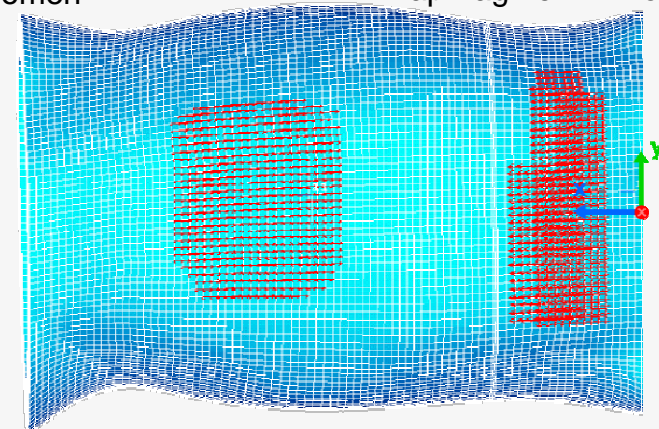
- Conditions aux limites représentatives du réel
- Cas de charges statiques issus des mesures
- Objectifs : Obtenir les déplacements mesurés
- Moyen : Modification de la géométrie interne de la structure



Abdomen

Diaphragme

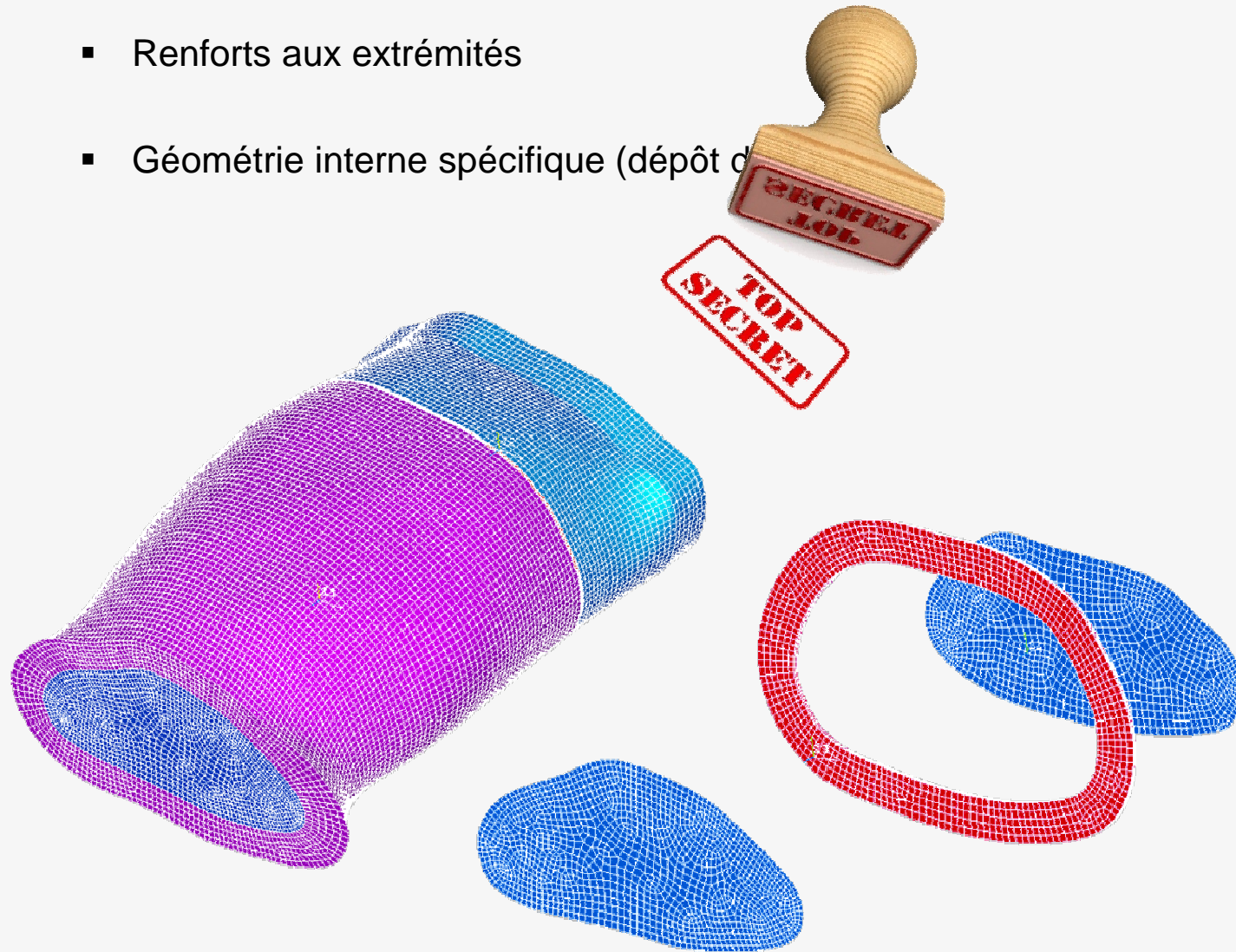
Thorax





## Optimisation de la structure

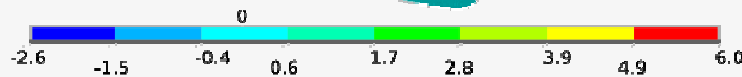
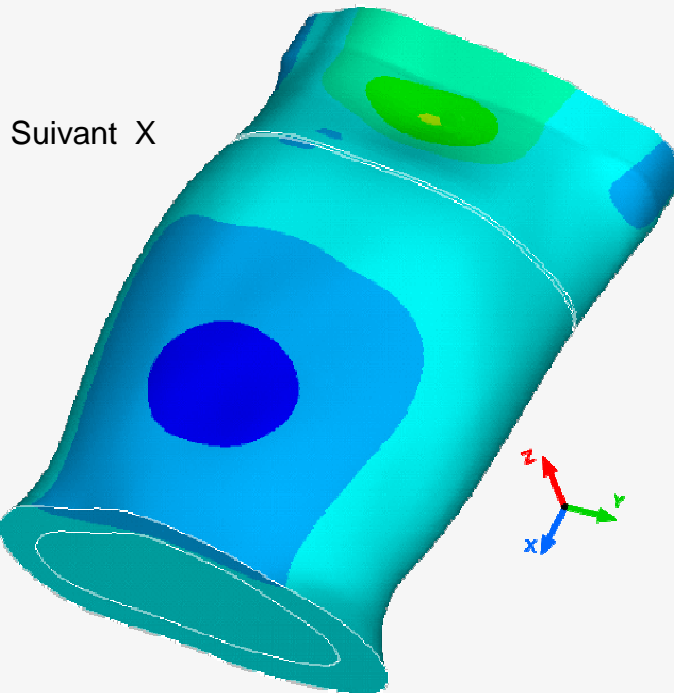
- Renforts aux extrémités
- Géométrie interne spécifique (dépôt d



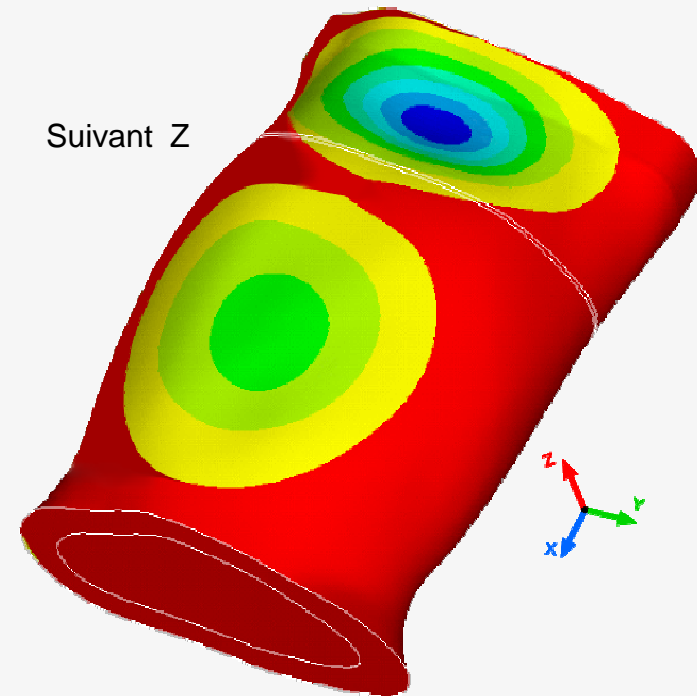


## Simulations éléments finis

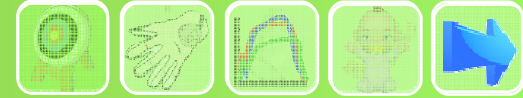
- Résultats en déplacements



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

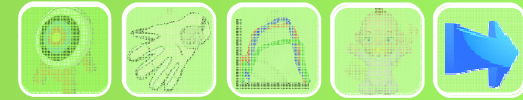


# ● Perspectives

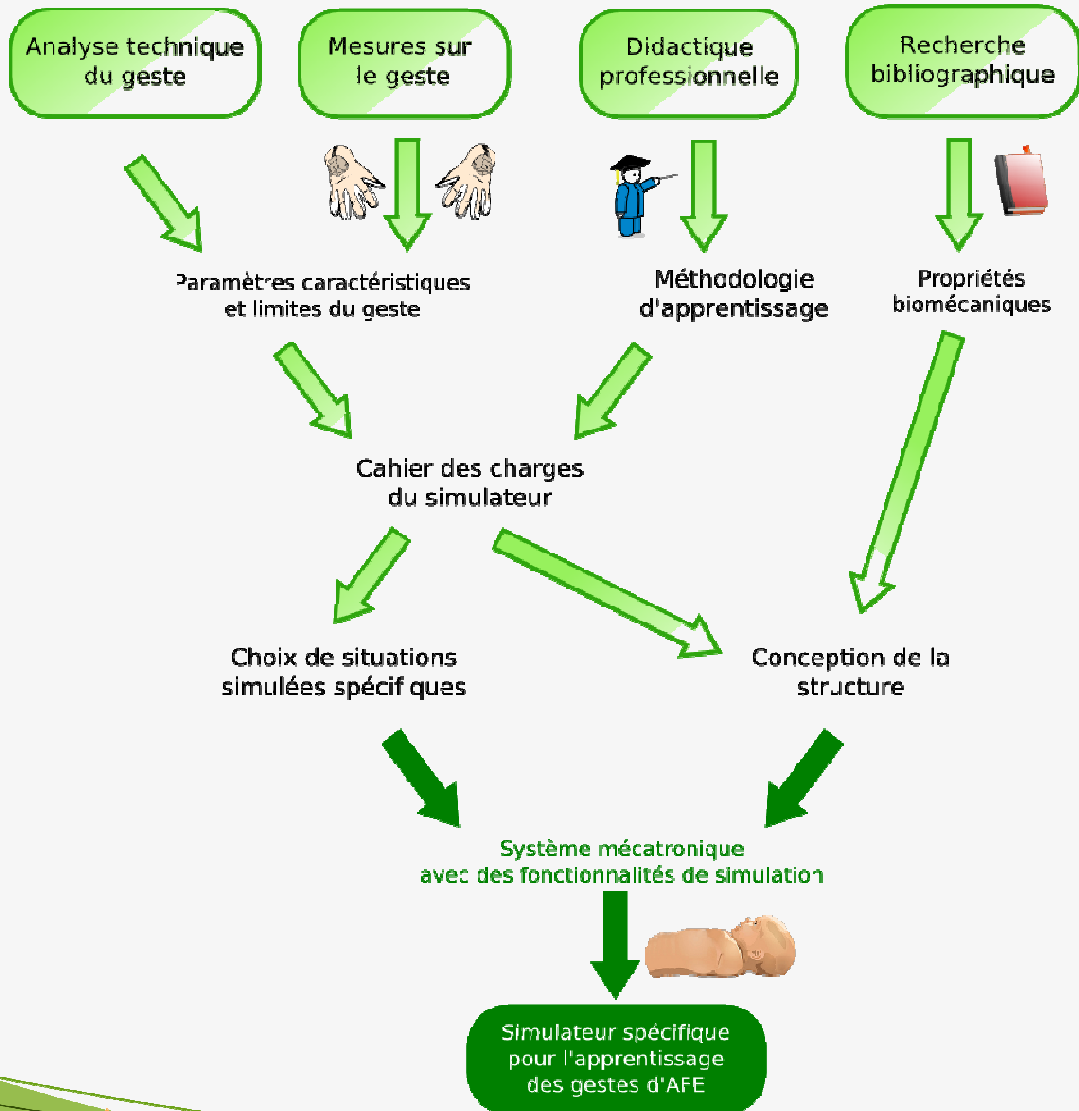
## ● Intégrer l'instrumentation à la structure

- Capteurs :
  - placement des mains
  - mesure du geste
  - détection du point de toux provoquée
  
- Systèmes actifs :
  - génération de la respiration libre
  - blocage mécanique de la structure
  - génération de vibrations
  - génération des sons

## ● Mettre en œuvre les fonctionnalités



## ● Finalisation du projet - Approche de conception 3/3



Didactique d'apprentissage sur simulateur

Organisation technique des situations didactiques



Laboratoire SYMME  
Université de Savoie – Annecy

Luc.marechal@univ-savoie.fr  
Christine.barthod@univ-savoie.fr