

CONSTRUCTION D'UN MODÈLE ANATOMIQUE COMPLEXE

Géraldine Giraudet



Université Lille 2
Droit et Santé



Centre Hospitalier Régional
Universitaire de Lille



LABORATOIRE
de MÉCANIQUE
de LILLE
UMR CNRS 8107



CC SALE
SASAH
USTL



POURQUOI

POURQUOI MODÉLISER

- Construction d'un modèle numérique 3D utile à l'enseignement:
 - Vidéos 3D
 - Compréhension de l'anatomie plus facile
 - Jeux sérieux (simulation chirurgie)
- Constructions de mannequins pédagogiques
- Impression 3D
- Chirurgie radio assistée

POURQUOI MODÉLISER

- Construction d'un modèle géométrique pouvant être implémenté des propriétés biomécaniques des tissus
 - Meilleure compréhension de la physiopathologie
 - Simulation des résultats d'une chirurgie
 - Prévision personnalisée de facteurs de risque si modèle géométrique et propriétés bioméca personnalisées



PRÉ REQUIS

PRÉALABLE

- Parfaite connaissance préalable de l'anatomie
- Biblio +++
- Définir les structures à individualiser
 - Quel examen d'imagerie (écho, IRM, scanner, angiographie, scanner 3D)
 - Bibliographie
 - Études d'examens d'imagerie existant
- Sujet d'étude:
 - Vivant ou cadavre
 - Un sujet ou plusieurs

SUJET VIVANT

- **AVANTAGES**

- Qualité des tissus
- Parfois à partir d'une imagerie déjà effectuée

- **INCONVÉNIENTS**

- Irradiation
 - Limitation du temps d'acquisition et donc du nombre de coupes et de la résolution
- Produit de contraste

CADAVRE

- Formolé
- Frais
- Frais « like »: préparation « BIOMET »

CADAVRE

- **AVANTAGES**

- Non limité pour le nombre de coupes, la résolution, différents essais de protocoles possibles
- Cadavre injecté avec produit de contraste
- Plusieurs examens d'imagerie possible
- +/- dissections
- +/- congélation et coupes

- **INCONVÉNIENTS**

- Qualité des tissus
- Apprentissage des dissections
- Accessibilité aux cadavres limitée
- Âge ?
- Antécédents ? Pathologies ?
- Coût: cadavre + imagerie



**COMMENT
QUELS SONT LES OUTILS**

COMMENT:

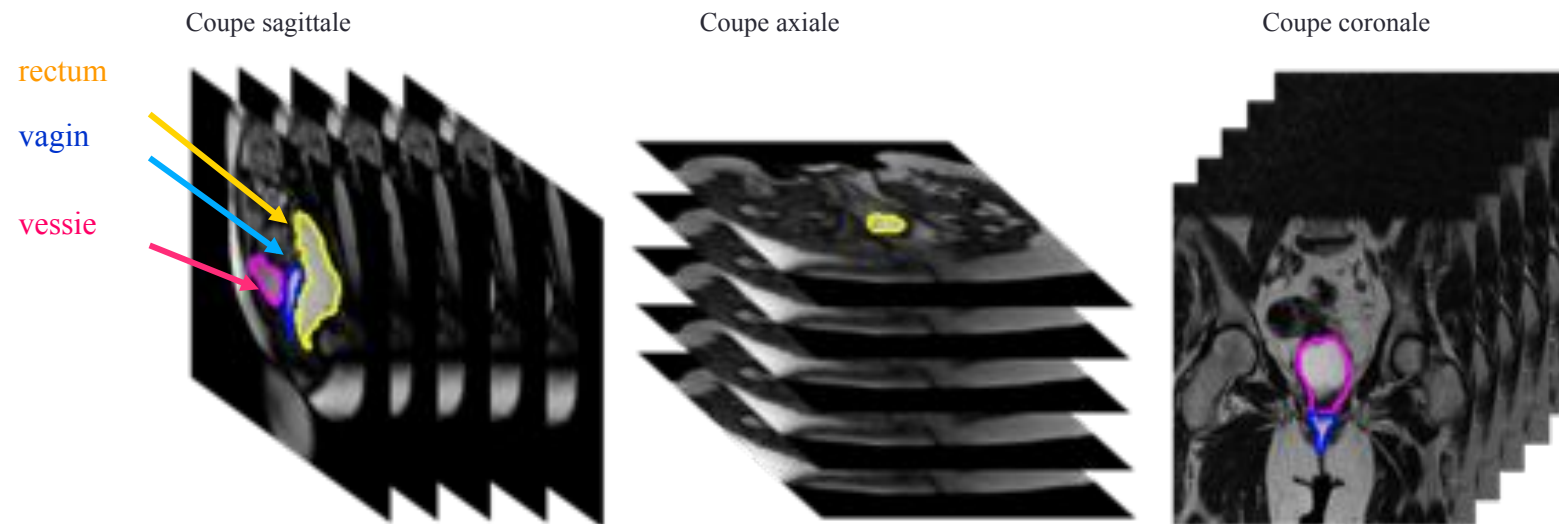
- **1- ACQUISITION DES DONNÉES**

- Numériques
- Coupes anatomiques
- Coupes histologiques
- Schéma anatomique

- **2- TRAITEMENT DES DONNÉES (Cours L. Patrouix)**

Origine des Données:

NUMÉRIQUES



DÉFINITIONS

- **DICOM** (Digital Imaging and Communication in Medicine)
 - Format international des images médicales
 - Standard international pour l'imagerie médicale permettant l'échange d'images et de données entre constructeurs et équipements
 - Images produites par:
 - Scanner
 - IRM
 - Échographie 3D
 - PET (positron emission tomographe)

DÉFINITIONS

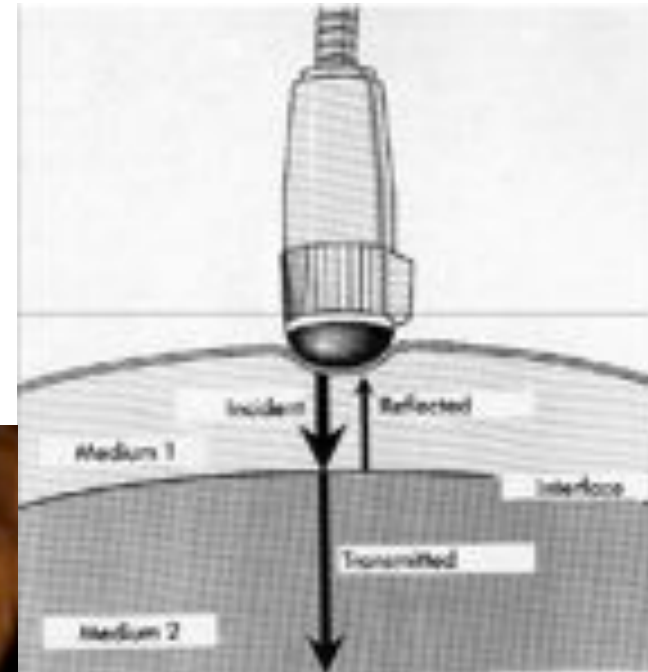
- **PIXEL:** unité de base permettant de mesurer la définition d'une image numérique (largeur X hauteur), forme rectangulaire
- **VOXEL:** pixel en 3D

DONNÉES NUMÉRIQUES

ÉCHOGRAPHIE

ÉCHOGRAPHIE: principes

- Envoi d'une onde ultrasonore
- Analyse du signal réfléchi
- Écho 3D:
 - Segmentation puis reconstruction

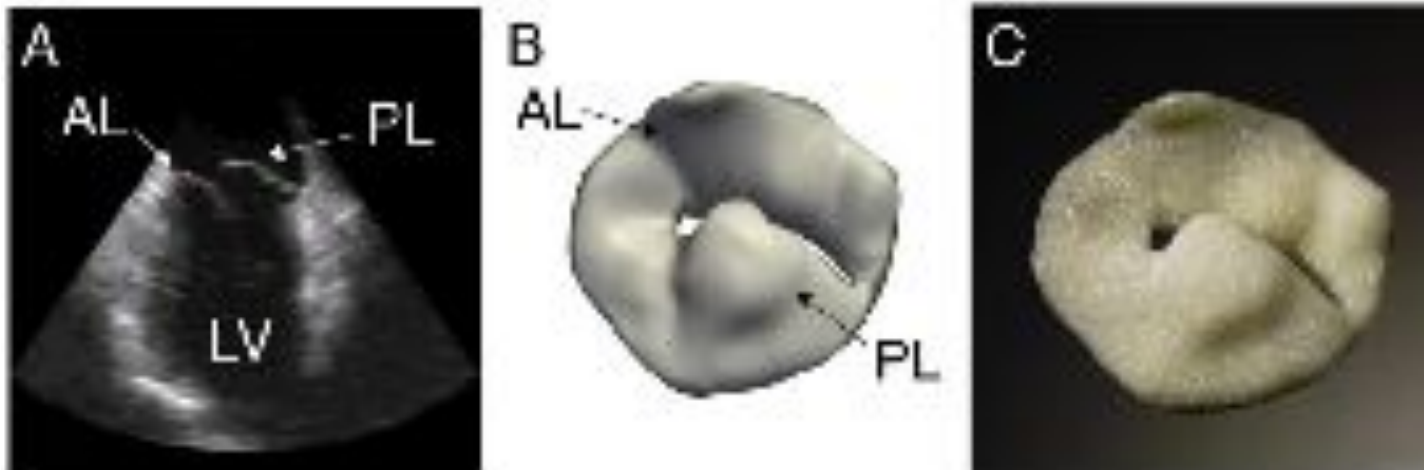


ÉCHOGRAPHIE 3D

- Gynécologie (malformations utérines)
- Foetus, écho obstétricale +++
 - Rachis
 - Fémur
 - Calcul de volumes:
 - Corps calleux, vermis cérébelleux (aide diagnostique)
 - Poumon
 - Reins
 - → réduction de la variabilité inter et intra individuelle *Chan, Ultrasound Obstet Gynecol, 2009*

ÉCHO 3D

- Voies aériennes supérieure *Or, British Journal radiol, 2013*
- Cœur:
 - Valves cardiaques *Pouch et al. 2012, Med Phys*



DONNÉES NUMÉRIQUES

TOMODENSITOMÉTRIE (TDM) OU SCANNER

SCANNER: principes

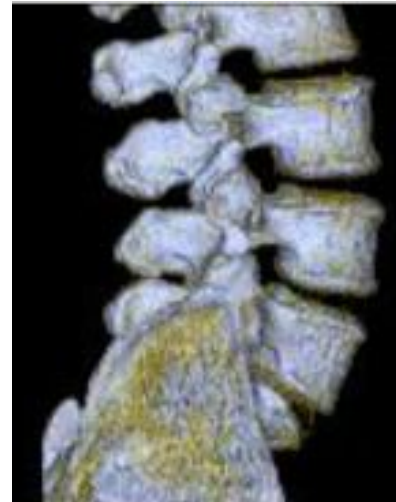
- 1972: TDM cérébrale (Sir Hounsfield)
- Anneau qui tourne autour du patient comportant de façon diamétralement opposée un tube à rayons X et un détecteur
- Le rayon qui traverse les tissus imprime le détecteur de façon plus ou moins importante selon l'absorption

SCANNER: principes

- **Scanner spiralé (ou hélicoïdal):** tourne en continu autour du patient décrivant une spirale en même temps que la table avance (spirale)
 - Rapidité d'acquisition
 - Balayage continu de l'ensemble du volume
- **Scanner multicoupes:** plusieurs détecteurs côte à côte
 - Acquisition très rapide de l'ensemble d'un volume en coupes fines
 - Reconstruction 3D de grande qualité
- +/- Produit de contraste iodé

SCANNER

- Diminution du temps d'acquisition
- Reconstruction d'un volume





DONNÉES NUMÉRIQUES

Imagerie par Résonance Magnétique

IRM: principes

- Utilise les modifications provoquées par un champ magnétique envoyé par la machine sur les noyaux des atomes d'hydrogène présents dans l'organisme
- Tunnel formé d'un puissant aimant 1,5 Tesla (30000 fois l'aimantation naturelle de la terre)
- Quelques IRM 3 T

IRM: principes

- Induction d'une onde de radiofréquence
 - Détection des modifications d'aimantation (résonance) des différents protons des tissus
 - Réception du signal engendré par le retour des noyaux d'hydrogène à leur état d'équilibre
- Contre indications:
 - Pace maker
 - Valves cardiaques ferro magnétiques
 - Plaies par éclat métallique
 - Corps étranger métalliques intra oculaires ou intra crâniens
 - Femmes enceintes de moins de 3 mois

IRM: différentes séquences

- **Temps de répétition:** intervalle de temps entre 2 excitations
- **Temps d'écho:** intervalle de temps entre l'excitation et la survenue du signal IRM
- **Séquence d'IRM:** ensemble d'impulsions excitatrices dont les paramètres (TE et TR) sont ajustés pour obtenir des images ayant un contraste donné (T1 ou T2)

IRM: différentes séquences

Séquence T1

Graisse	Blanc (hypersignal)
Tissus	Gris
Eau	Noir-Gris
Air	Noir
Os compact	(hyposignal)

Séquence T2

Eau	Blanc (hypersignal)
Graisse	Gris Clair
Tissus	Gris
Air	Noir
Os compact	(hyposignal)

IRM: différentes séquences

- **Séquence FAT SAT**

- Environnement électronique des protons différents dans le tissu graisseux / molécules d'eau
- Possibilité de supprimer leur signal en utilisant cette différence de résonance
- Signal atténué de la graisse par rapport aux autres tissus

- **Séquence en écho de gradient**

- Diminution du temps d'acquisition

.....



Origine des Données:

DISSECTIONS ANATOMIQUES

DISSECTIONS ANATOMIQUES

COUPES ANATOMIQUES



Wu, Comput Med Imaging Graph, 2012

COUPES ANATOMIQUES

- Cadavre congelé
- Définir épaisseur de coupes
- Numérisation et contourage
- Visible Human project
 - Conception en 1989
 - Dirigé par la National Library of Medicine et Mickael Ackerman
 - Musée national de la santé et de la médecine à Washington
 - Un homme et une femme
 - Congélation puis coupes de 1mm (homme) et 0,33 mm (femme)
 - Scanner, IRM et numérisation des coupes

COUPES ANATOMIQUES

- Chinese visible human
 - Coupes segmentées après numérisation puis reconstruction 3D

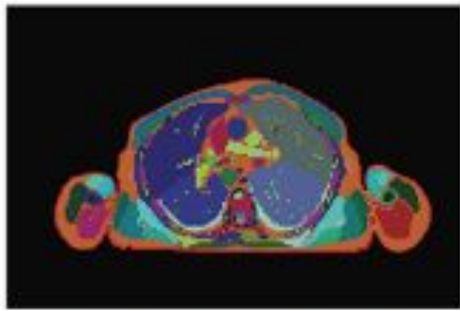


FIGURE 1: Segmentative image of CVH thorax.

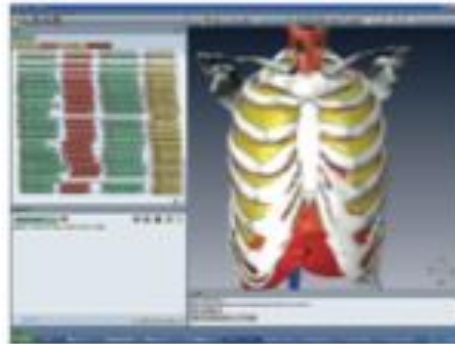
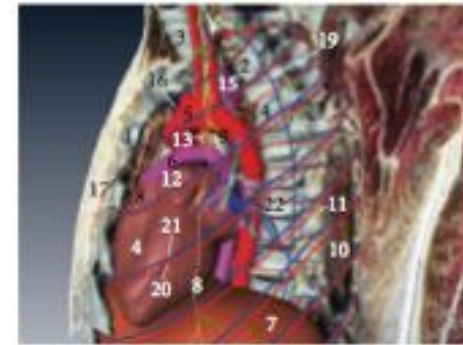


FIGURE 2: Amira software's interface.



Wu, Comput Med Imaging Graph, 2012

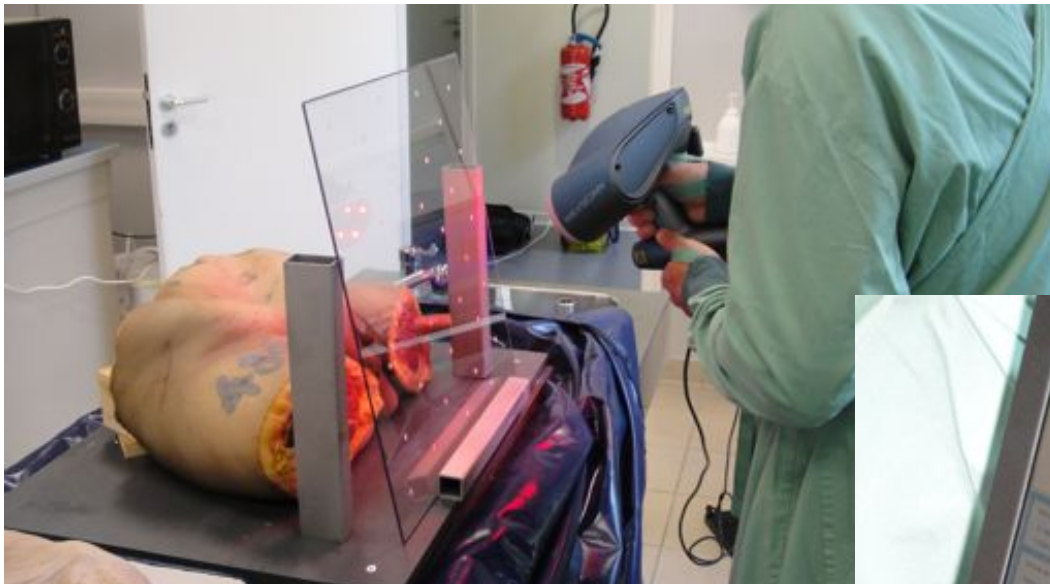
- Visible Korean Human



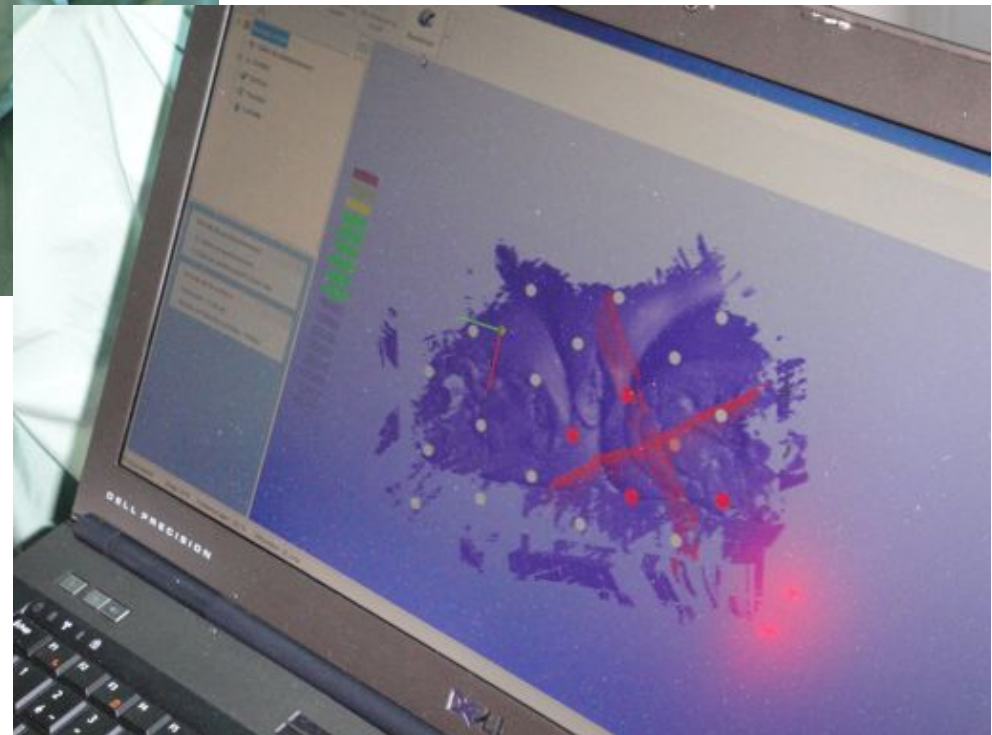
DISSECTIONS ANATOMIQUES

SCANNER 3D

SCANNER 3D



PORTABLE 3D SCAN
Scanner de numérisation
laser



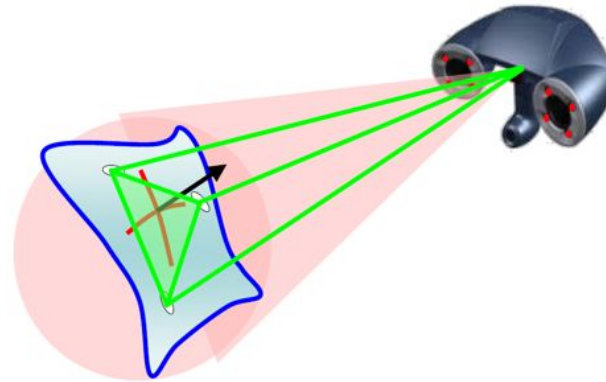
PRINCIPE SCANNER 3D

- Douchette de supermarché
- Mise en place de cibles réfléchissantes sur la pièce directement ou sur un montage: connaître la position exacte du scanner à tout moment par rapport à sa position d'origine

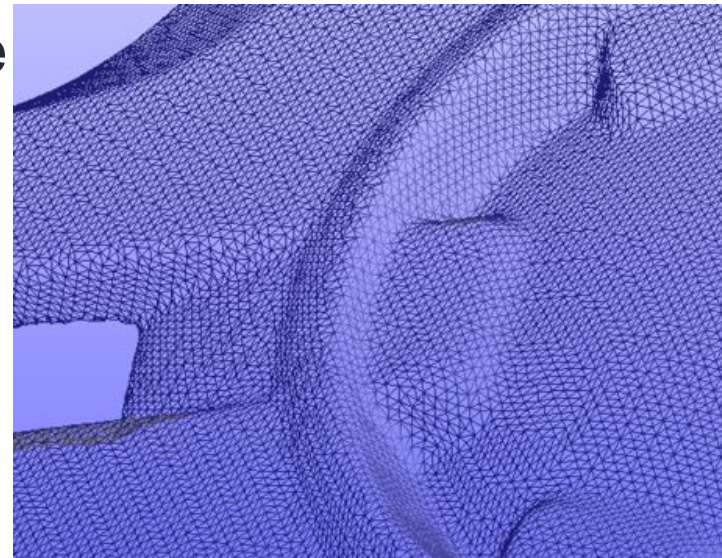


PRINCIPES SCANNER 3D

- Cibles éclairées par sources lumineuses repérées par 2 caméras



- Variation de la résolution possible
- Obtention d'une surface facétisée construite sur le nuage de points acquis



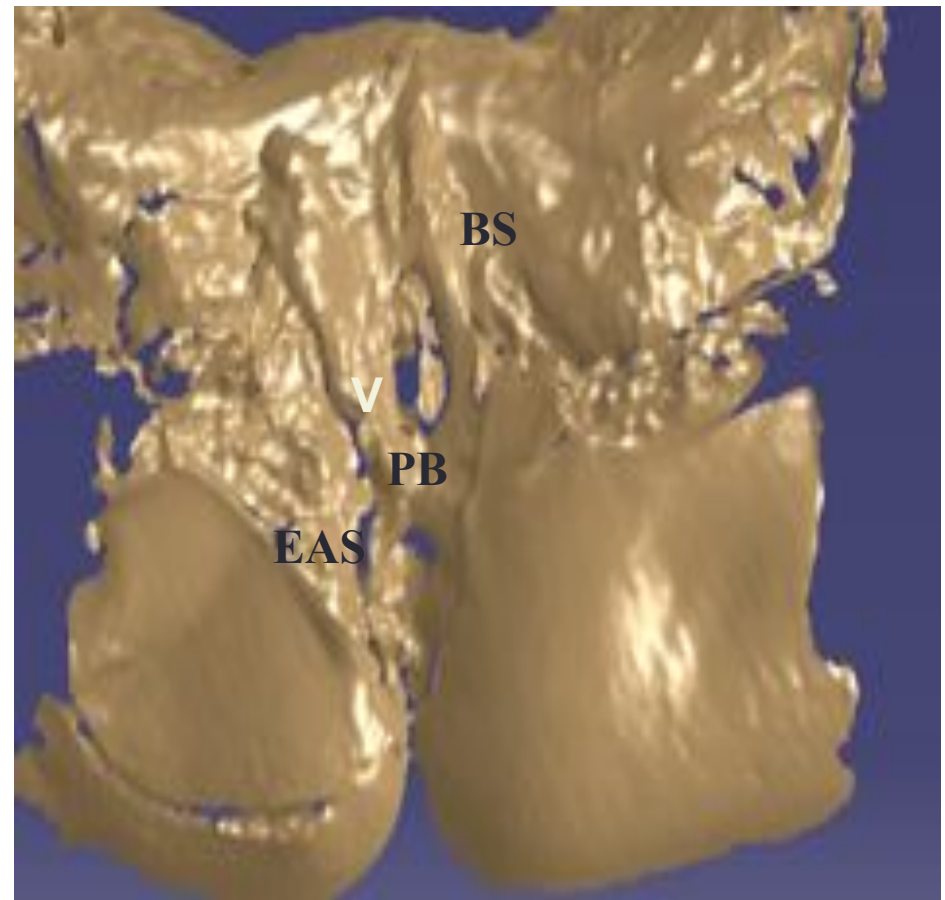
SCANNER 3D: utilisation

- Prothèses dentaires
 - Scan de la dent
 - Numérisation
 - Impression de la prothèse
- Prothèses mammaires
 - Scan du buste avant chirurgie
 - Numérisation
 - Conception d'une prothèse mammaire sur mesure

PRINCIPES SCANNER 3D

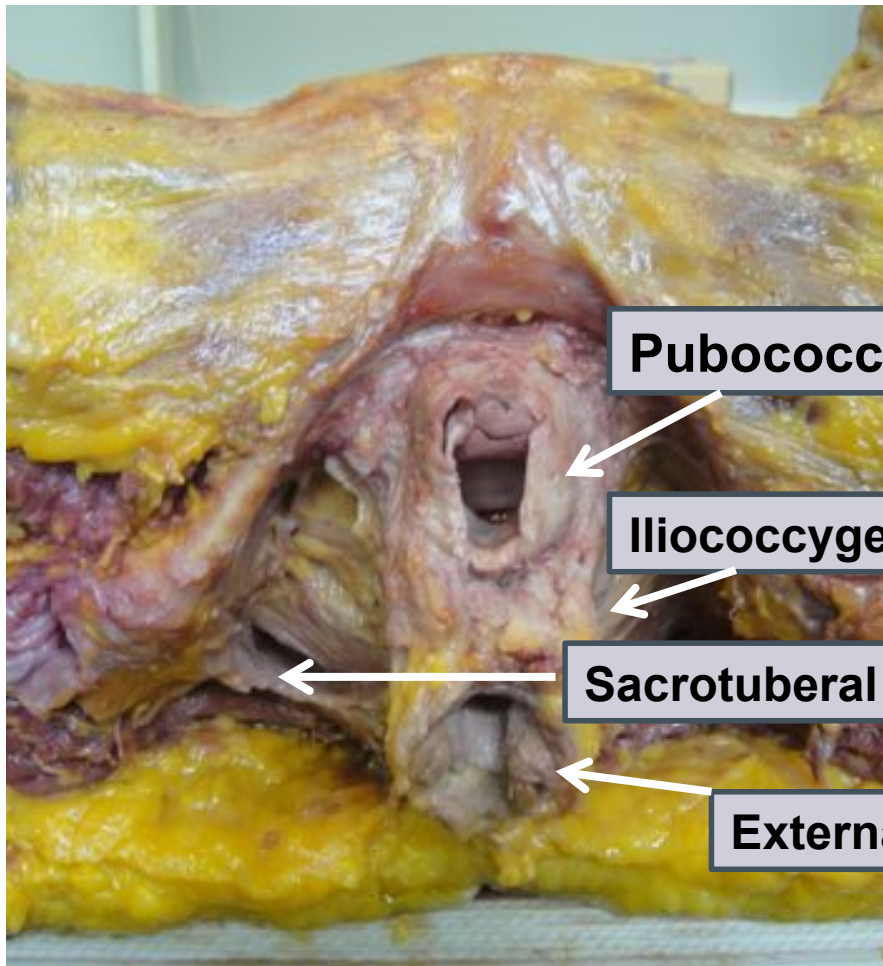
- Dissection de la région d'intérêt pour mettre en évidence la structure souhaitée
- Photographies à chaque moment de la dissection
- Scanner 3D balayé sur la région disséquée pour numérisation
- Obtention d'une reconstruction surfacique

3D SCAN

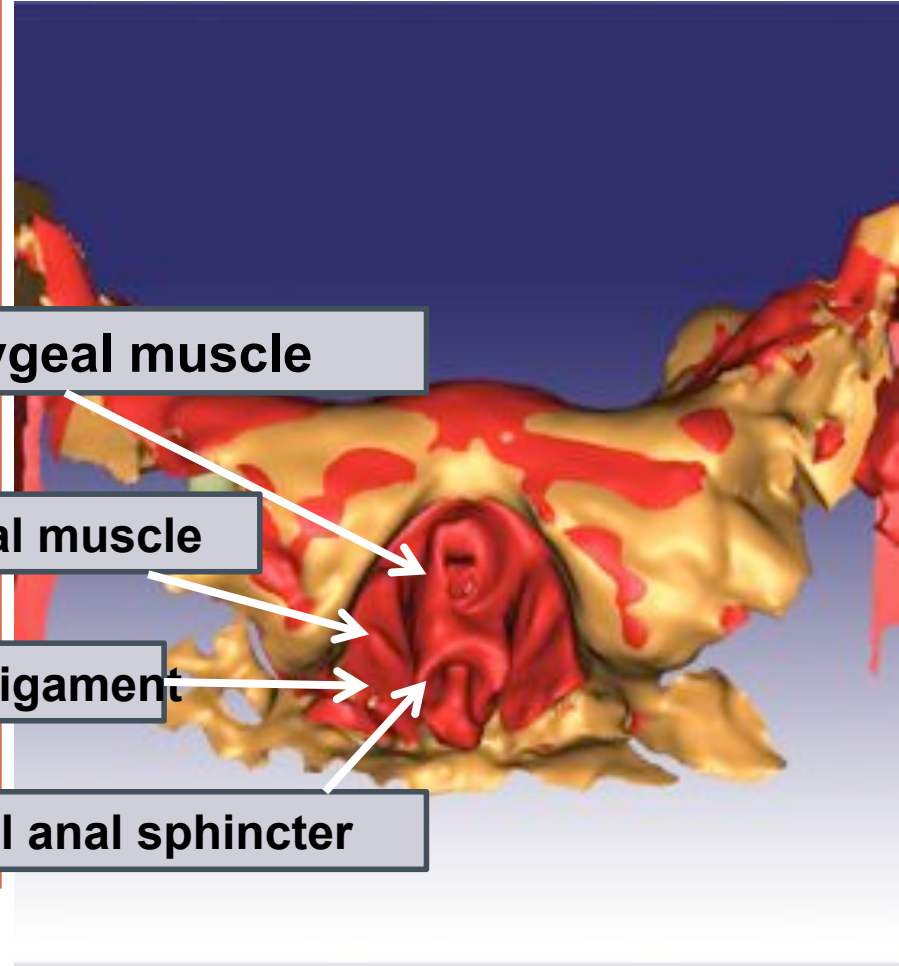


METHODS

ANATOMICAL DISSECTION



CORRESPONDING 3D SCAN



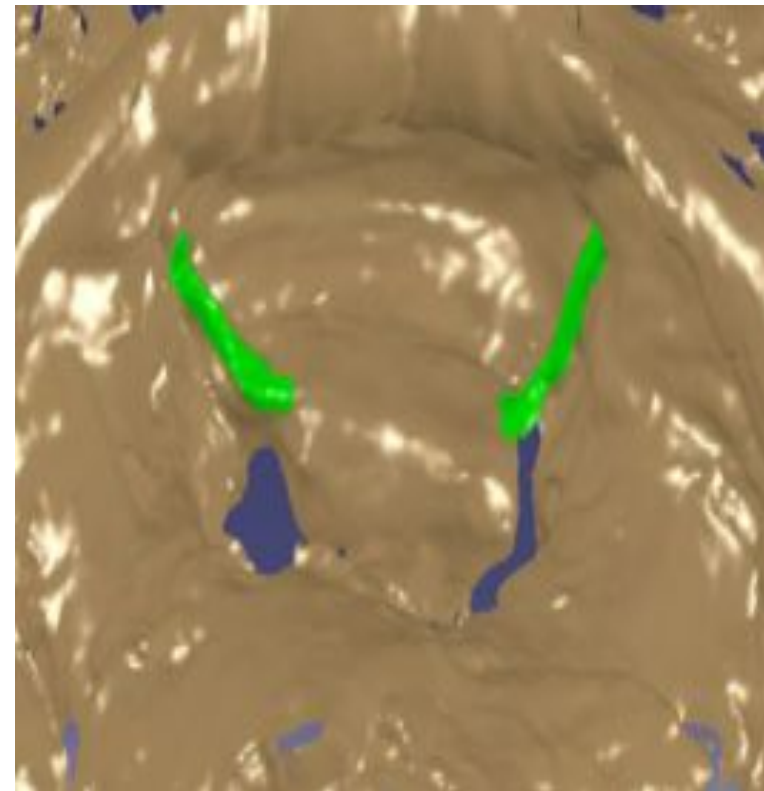
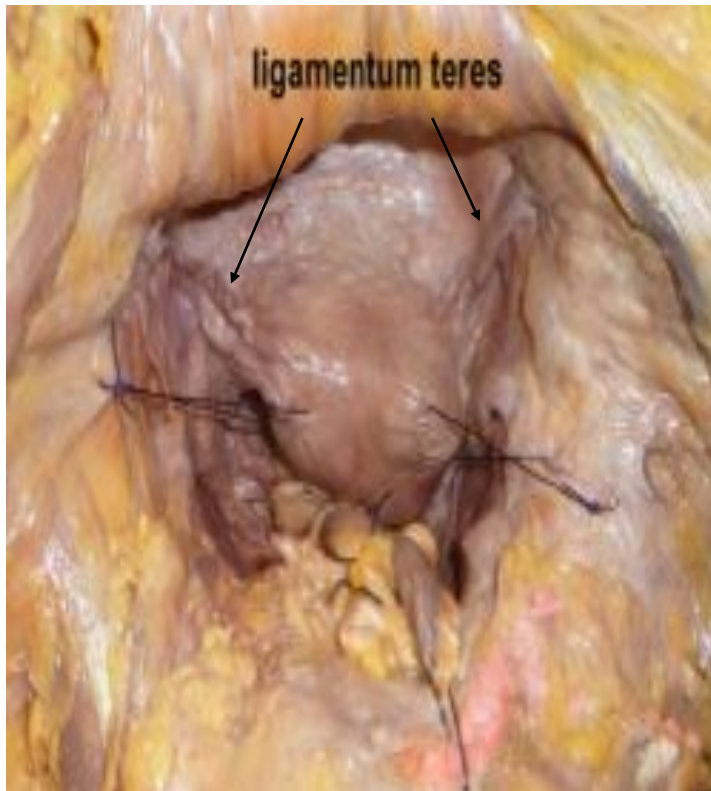
Pubococcygeal muscle

Iliococcygeal muscle

Sacrotuberal ligament

External anal sphincter

MÉTHODES



Identification de la structure à l'aide de photos prises à chaque étape de la dissection et correspondant à chaque acquisition scanner

SCANNER 3D

- **AVANTAGES**

- Portable
- Dissection et individualisation de la structure souhaitée
- Pièce mobile par rapport au scanner

- **INCONVÉNIENTS**

- Surfacique
- « trous », difficultés quand structures contournées, profondes
- Temps d'acquisition pour chaque coupe: 10 minutes environ
- Travail de reconstruction important
- Nécessité d'un système de repères sur la pièce à numériser

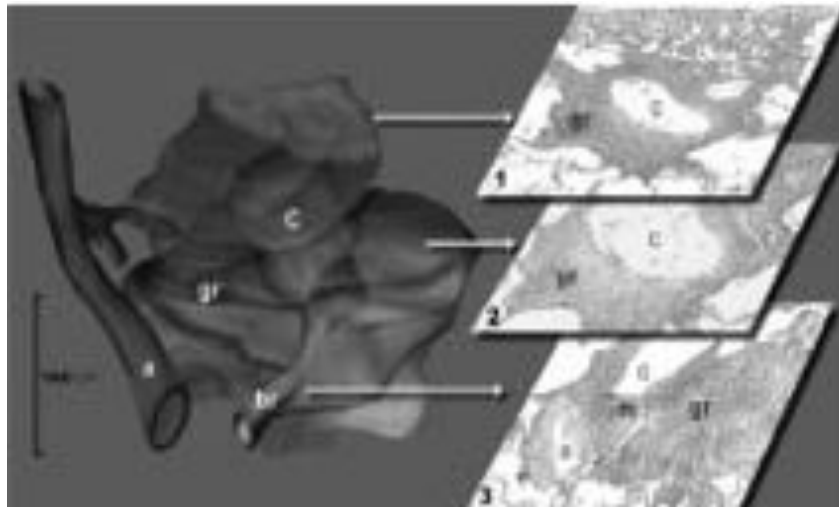


Origine des Données:

COUPES HISTOLOGIQUES

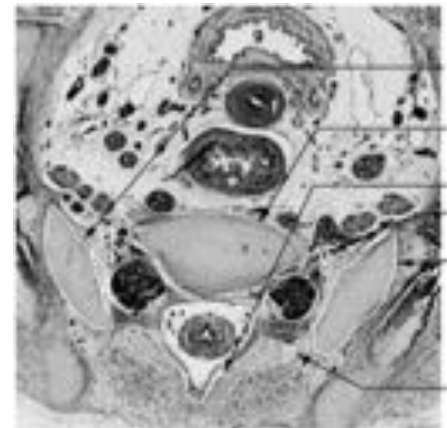
COUPES HISTOLOGIQUES

- Structures anatomiques non visualisées en imagerie
- Numérisation puis contourage des coupes



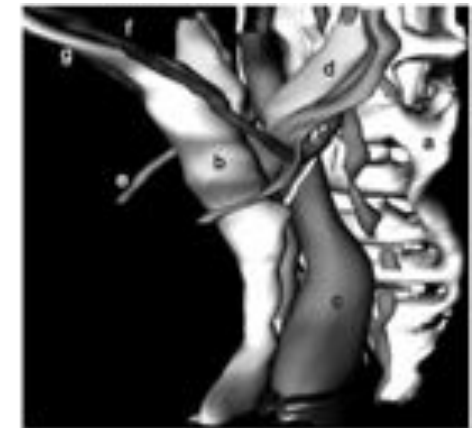
Reconstruction 3D d'une lésion granulomateuse pulmonaire par histiocytose X

Kambouchner, 2002, Am J Respir Crit Care Med



Reconstruction 3D du petit bassin d'un embryon

Hounnou, 2001, Surg Radiol Anat





CONTOURAGE ou SEGMENTATION

PRINCIPES

- Contourage semi automatique: structures dont le contraste est important
 - Seuillage des niveaux de gris
 - Os +++++, vaisseaux
- Contourage manuel

LIMITES

- Long: chaque coupe doit être contourée
- Variabilité intra et inter individuelle
- Certaines structures mal visualisées
- Extrapolation à partir des connaissances ?



Origine des Données:

**À PARTIR DE SCHÉMAS
ANATOMIQUES**

Manuels d'anatomie

- A partir de schémas anatomiques
- Coordonnées de chaque point entré dans logiciel informatique
- **LIMITES:**
 - Fastidieux
 - Long
 - Extrapolation du réel
 - Impossible si anatomie non connue



EXEMPLE: PELVIS FÉMININ

OBJECTIFS

- Aucun pelvis féminin existant en 3D
- Créer un modèle anatomique 3D du pelvis avec organes, muscles et ligaments
- Double objectif:
 - Pédagogique
 - Logiciel 3D
 - Fabrication de mannequins d'enseignement
 - Biomécanique

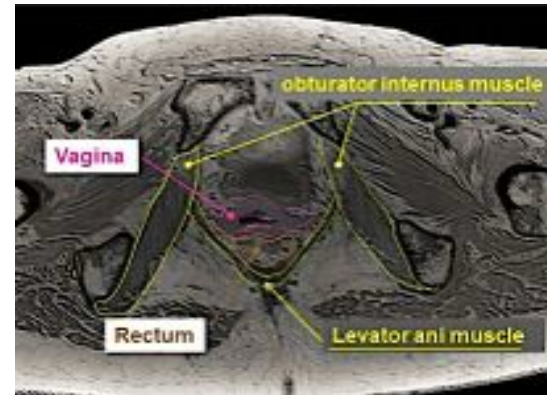
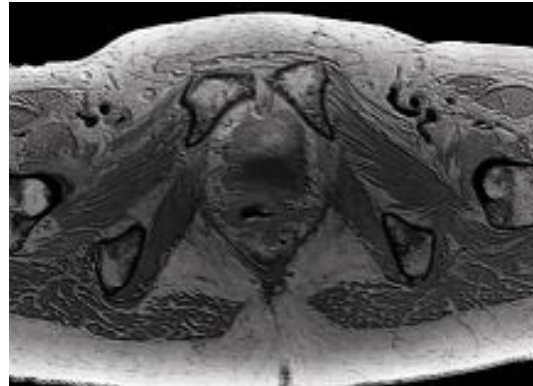
PROBLÈMES

- Anatomie imparfaitement connue
- Anatomie complexe car structures profondes difficilement accessibles même lors des dissections, non disséquées lors de la chirurgie
- Ligaments et muscles du plancher pelvien et du périnée mal visualisés en imagerie
- Variabilité intra et inter individuelles connues *Hoyte, 2011*

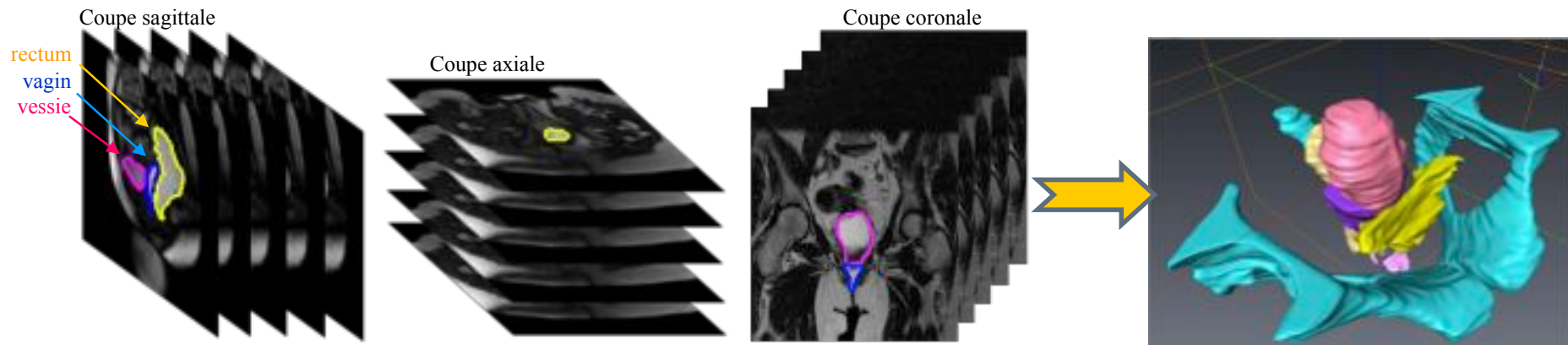
MATÉRIELS ET MÉTHODES

- Scanner et IRM d'un cadavre
 - Vérifier la présence de l'utérus
 - Déterminer les structures mal visualisées
- Dissections des structures anatomiques mal visualisées en imagerie classique
- Scanner 3D à chaque étape de la dissection et photos
- Contourage de l'IRM
- Comparaison résultats scanner 3D et IRM

RÉSULTATS

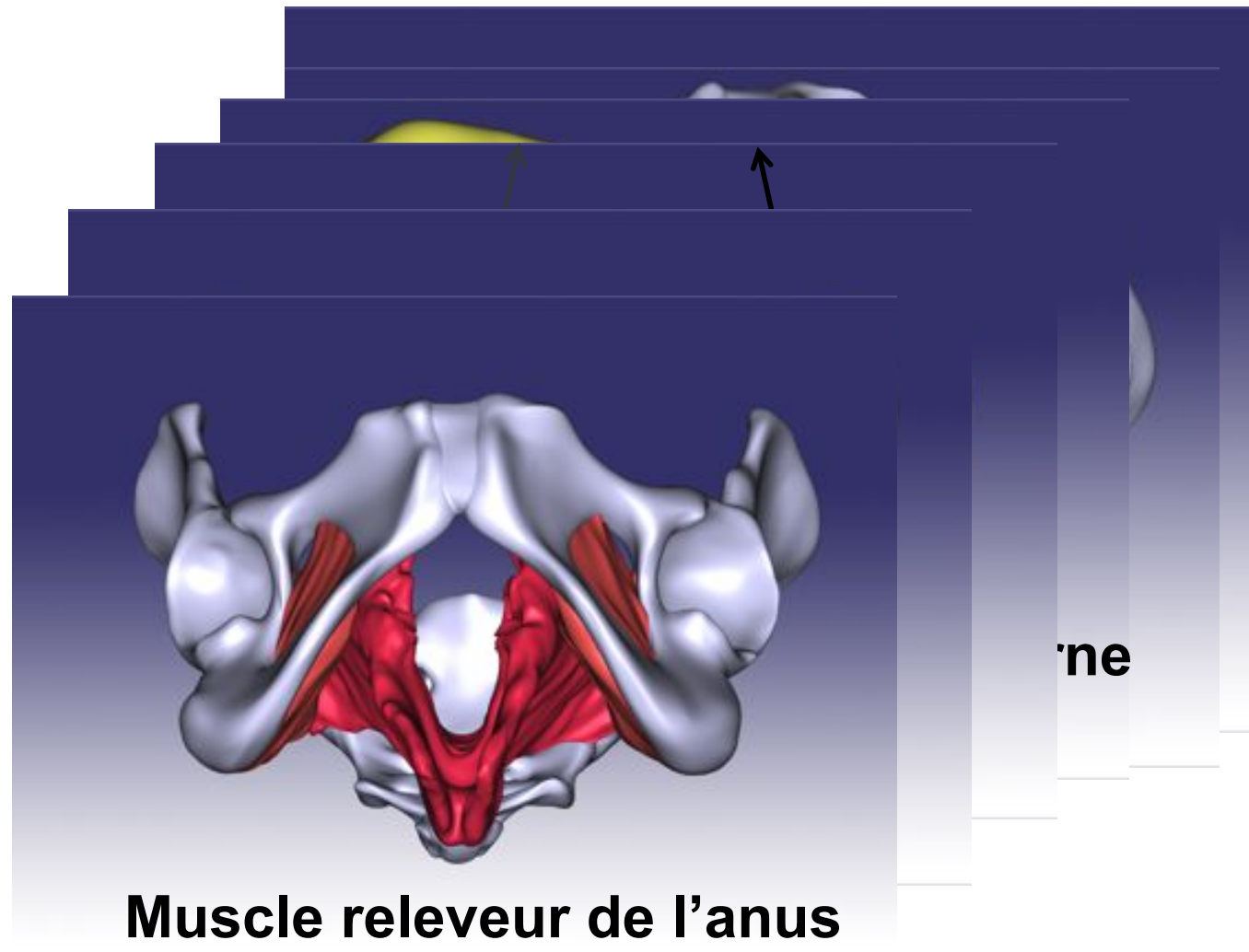


Contourage des muscles du plancher pelvien et du périnée (Avizo) importé dans Catia

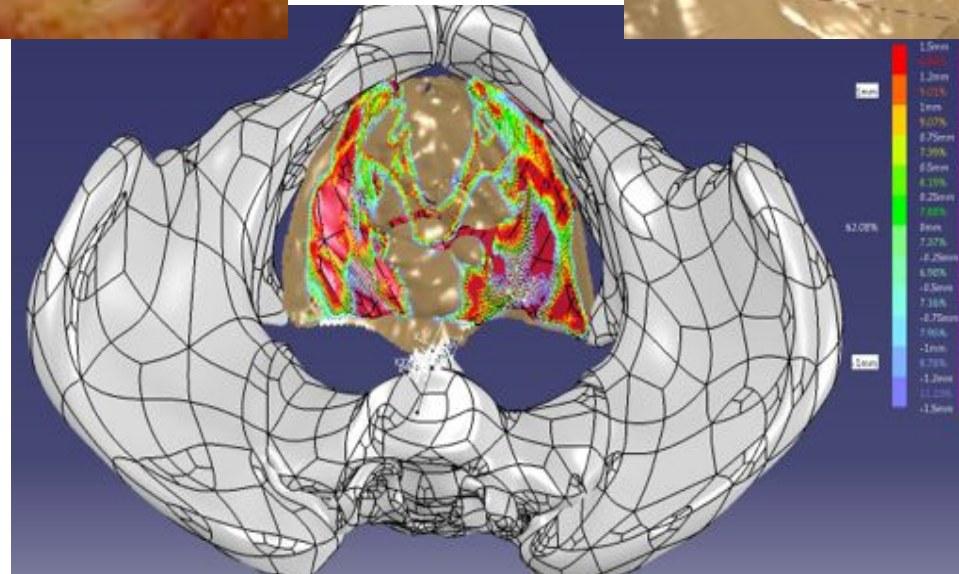
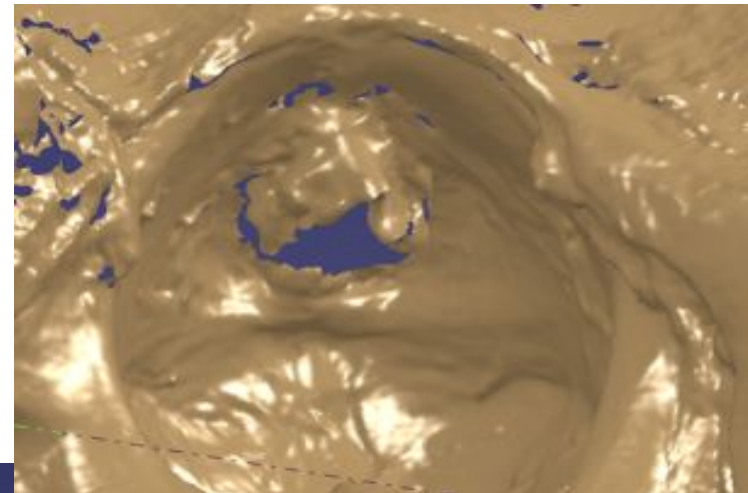


RÉSULTATS

PLANCHER PELVIEN



RÉSULTATS: COMPARAISON IRM / SCANNER 3D



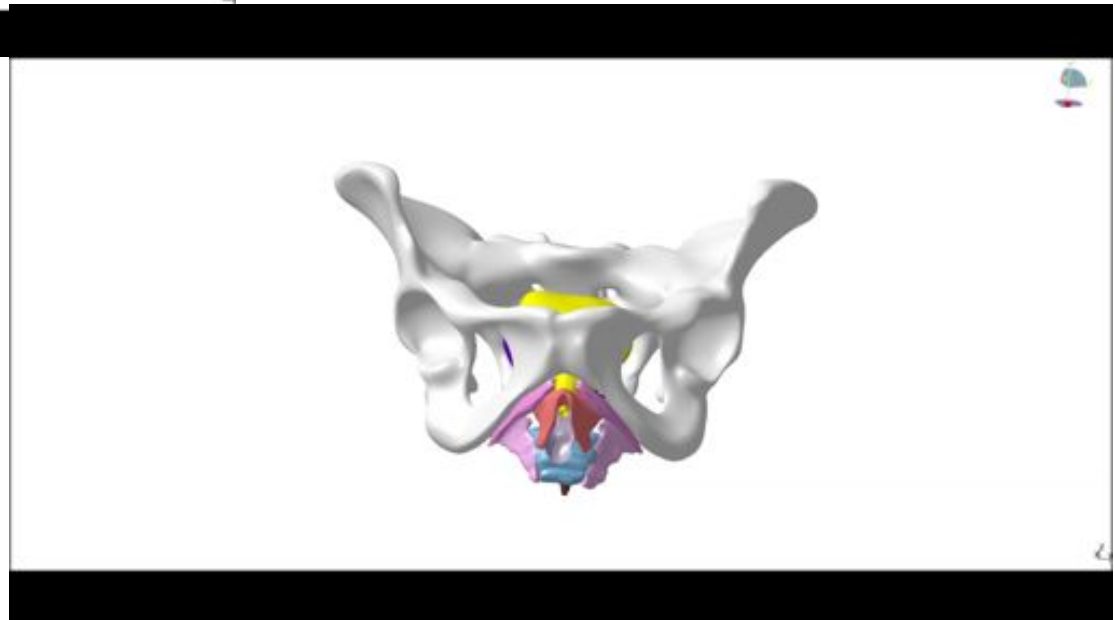
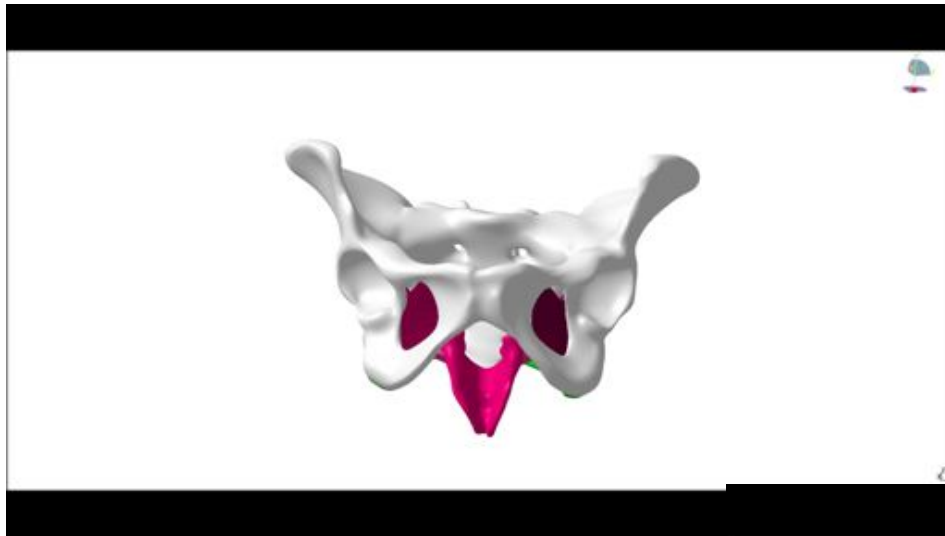


APPLICATIONS

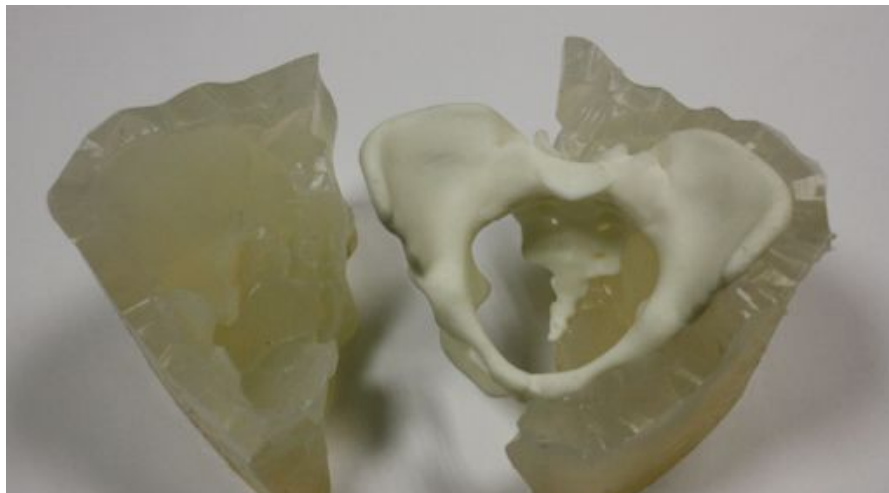
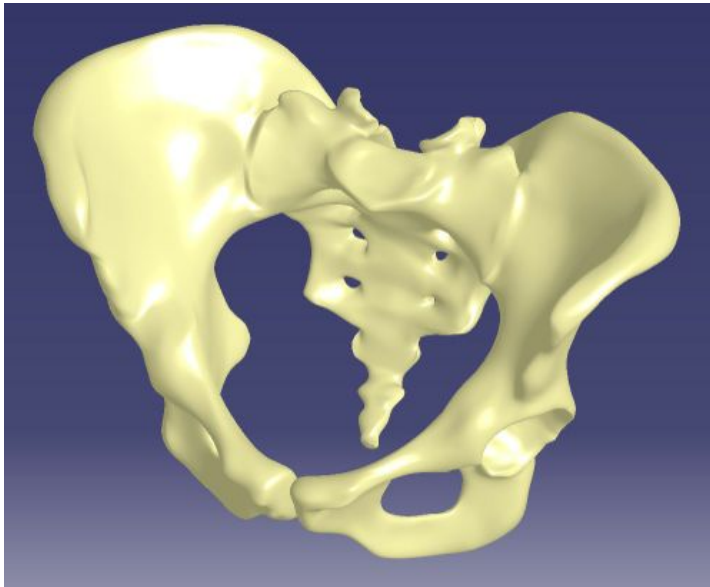
APPLICATIONS

PÉDAGOGIQUES

VIDÉOS D'ENSEIGNEMENT



Impressions 3D, Mannequins pédagogiques

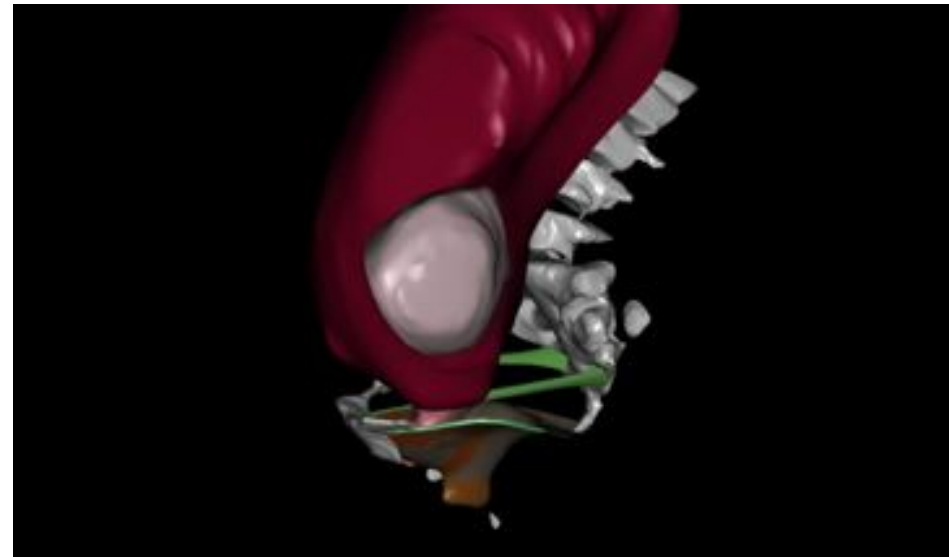


APPLICATIONS

MODÉLISATION BIOMÉCANIQUE

Modélisation biomécaniques

- Mobilités pelviennes
- Accouchement
- Orthopédie: rachis...
- Physiologie cardiaque,
flux sanguins



APPLICATIONS

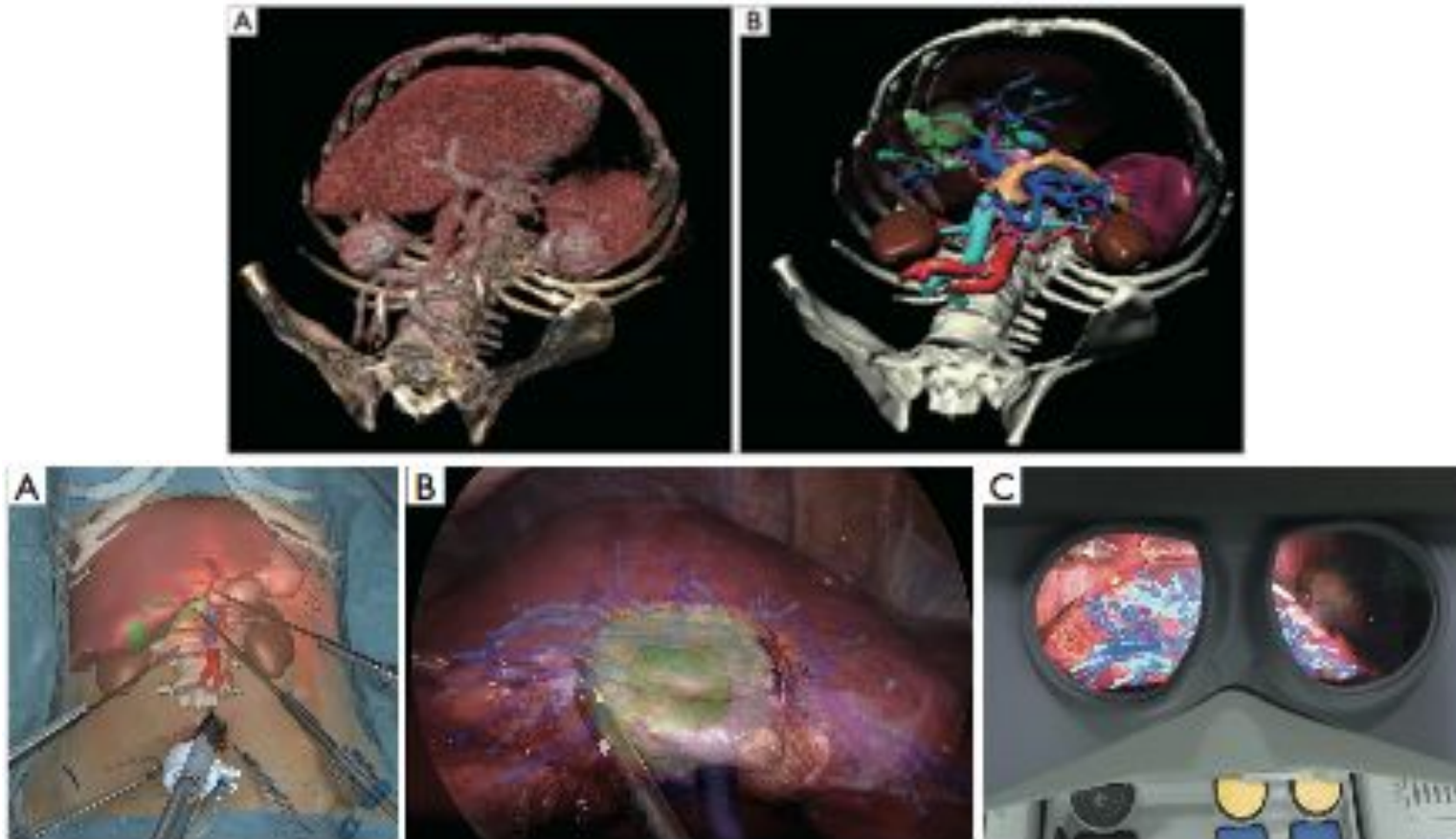
THÉRAPEUTIQUES

IMPRESSION 3D

- Valves cardiaques
- Prothèses dentaire, orthopédiques
- Prothèses mammaire

RÉALITÉ AUGMENTÉE

- *Soler, Marescaux and al., 2014, Hepatobiliary Sur Nutr*





CONCLUSIONS

CONCLUSION

- Plusieurs outils sont nécessaires à la réalisation d'un modèle anatomique complexe (échographie, scanner, IRM, scanner 3D, dissections, histologie....)
- Construction du modèle fait intervenir une collaboration entre radiologues, anatomistes, chirurgiens, ingénieurs, infographistes
- Applications multiples:
 - Enseignement
 - Fabrication de prothèses
 - Aide à la chirurgie: Réalité augmenté