



Projet FEMONUM

Modélisation Numérique de la Mère et du Fœtus pour la Dosimétrie

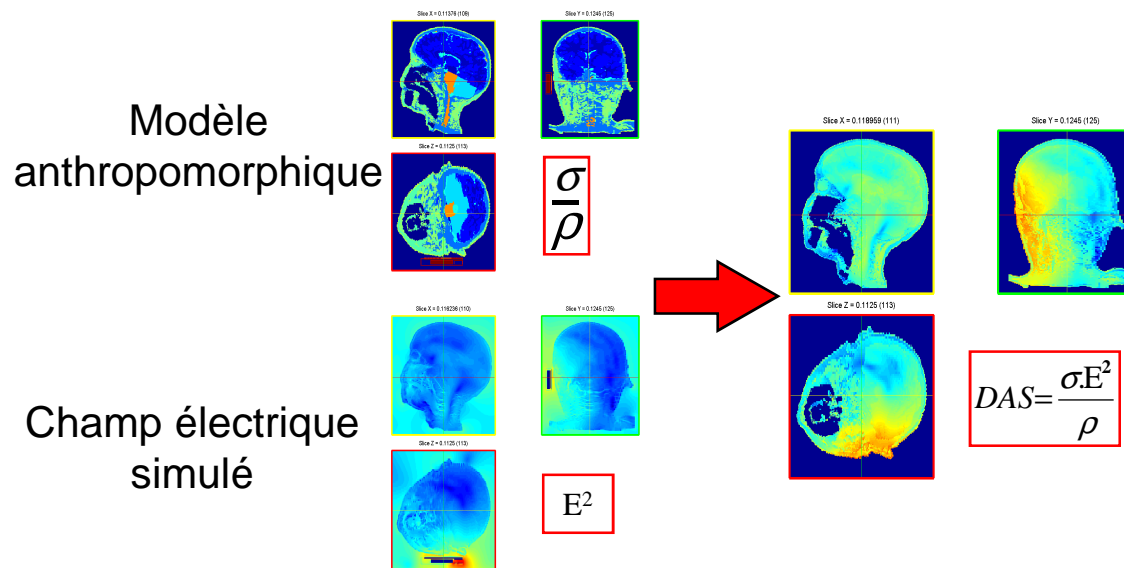
J. Anquez , L. Bibin, J.P. de la Plata,
T. Boubekour, E. Angelini, I. Bloch

Télécom ParisTech - CNRS UMR 5141 LTCl, 46 rue Barrault, 75013 Paris

Dosimétrie des radiations EM

Etudes de dosimétrie

- Physiques : mesures de doses sur des fantômes physiques.
- Numériques : simulations de doses sur des modèles numériques.



Expertise à TELECOM ParisTech

1. Etudes sur l'exposition de l'**adulte** aux champs électromagnétiques

Projet **COMOBIO** (Communications Mobiles et Biologie),
[1999-2002]

2. Etudes sur l'exposition de l'**enfant** aux champs électromagnétiques

Projet **ADONIS** (Analyse dosimétrique des systèmes de téléphonie mobile de troisième génération)
[2003-2006]

3. Modélisation de la **femme enceinte** (pour étudier l'influence de son exposition aux champs électromagnétiques)

Projet **FEMONUM** (FEtus and MOther NUmerical Models)
[2007-2009]

Modèles anthropomorphiques

- Modèles anthropomorphiques nécessaires.
- Modèles adultes : utilisation d'images médicales corps entier (problématique pour la femme enceinte).
- Modèles de femme enceinte : élaboration de **modèles hybrides**, en fusionnant des modèles de femme non gravide et de l'unité utéro-placento-fœtale (UUPF).
- Peu de modèles à l'heure actuelle (**modélisation de l'UUPF imparfaite et insertion de l'UUPF interactive**).

(illustrations supprimées pour des raisons de droits d'auteur)



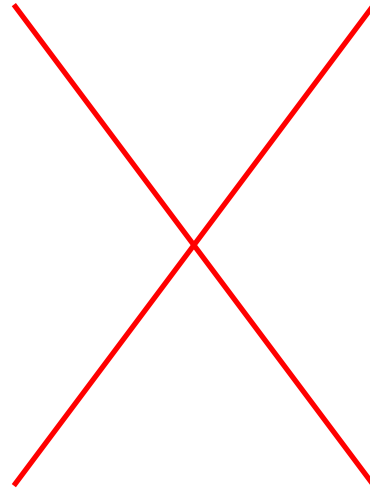
IRM et segmentation

Source : [Nagaoka 02]

Modèles existants

TANAKO [Nagaoka 08]
PWM [Tanarenko 08]
NAOMI [Dimbylow 07]

(illustrations supprimées pour des raisons de droits d'auteur)



UUPF stylisée :

- + Implantation simple.
- Faible réalisme.

UUPF synthétique et voxelisée :

- +/- Réalisme.
- Singularités.

UUPF voxelisée :

- + Réalisme.
- Modélisation de la grossesse.

Objectifs

- **Automatiser la segmentation d'images médicales anténatales**, pour construire des modèles de l'UUPF dépassant les limites des modèles existants.

- Réalisme.
- Détail anatomique.
- Régularité.

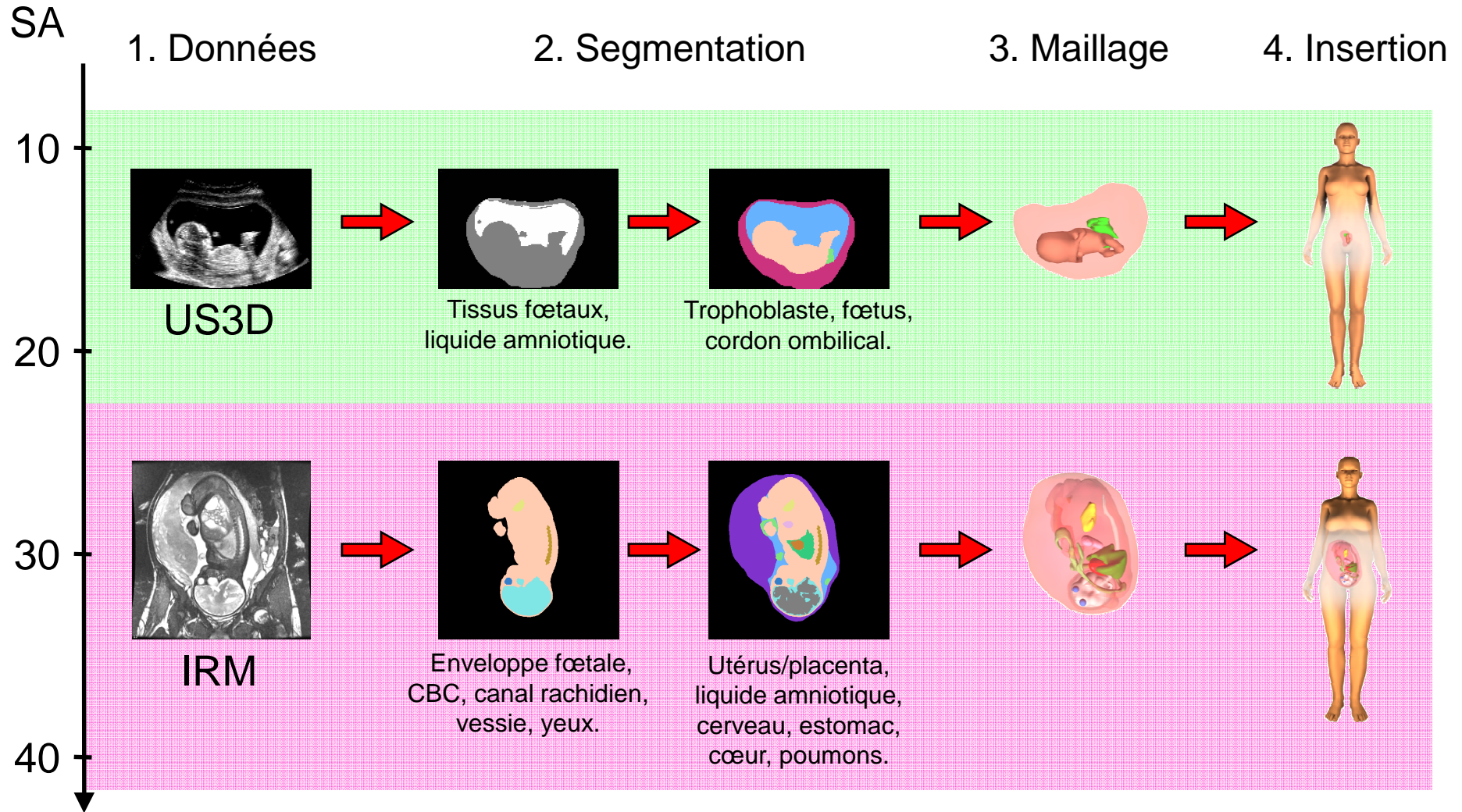
Dosimétrie précise.

- Couverture de l'ensemble de la grossesse.
- Représentativité de la variabilité morphologique et positionnelle du fœtus.

Influence sur la dosimétrie.

- **Automatiser l'élaboration des UUPF et leur insertion dans le modèle de femme**, pour assurer leur positionnement correct.

Approche proposée



1. Données

Constitution d'une base d'images comprenant 19 images US3D (8 à 22 SA) et 43 images IRM (26 à 35 SA).

US3D



9 SA



13 SA

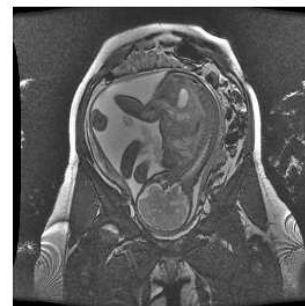


22 SA

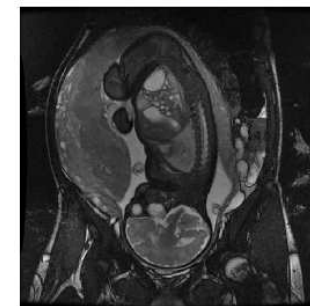
IRM



26 SA



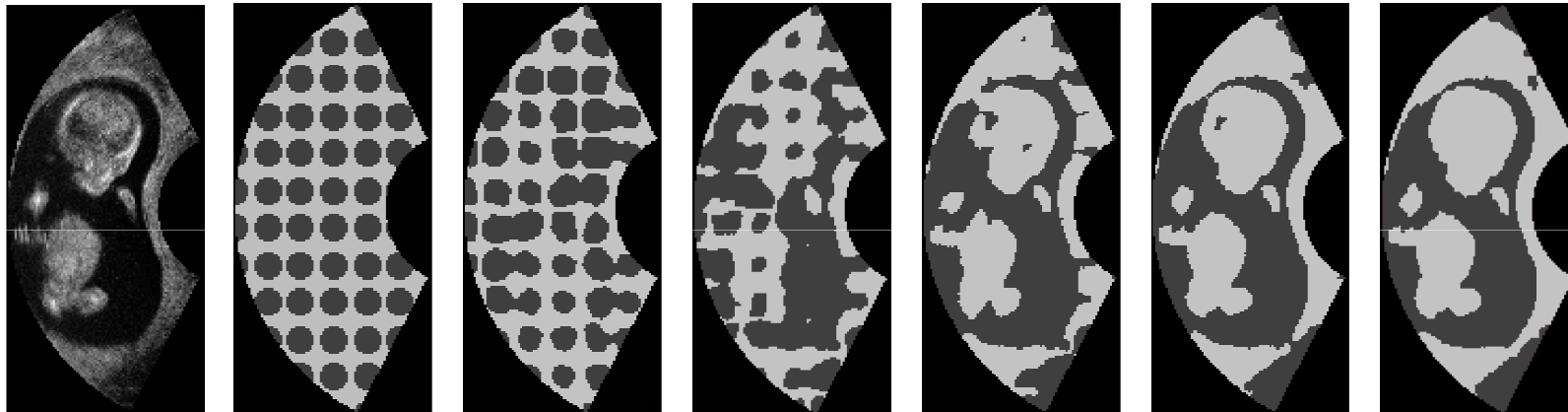
30 SA



34 SA

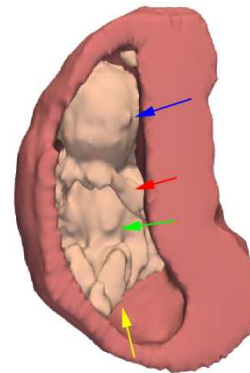
2. Segmentation des images US3D

- Modélisation de la distribution des intensités dans les tissus fœtaux et dans le liquide amniotique, et segmentation dans le cadre des modèles déformables.

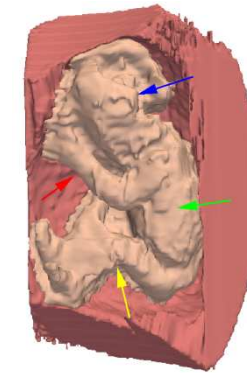


- Reconstructions 3D :

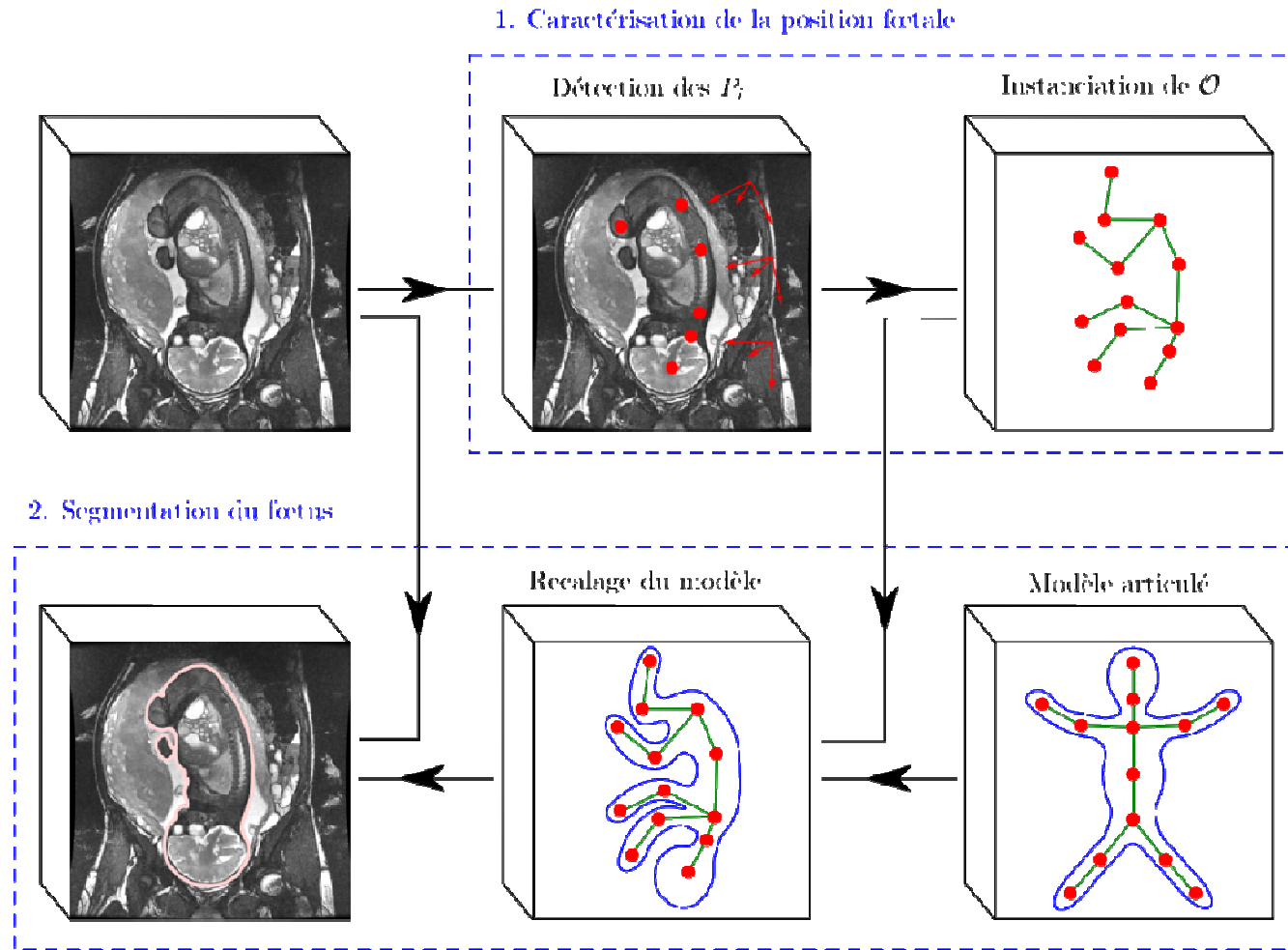
13 SA



22 SA

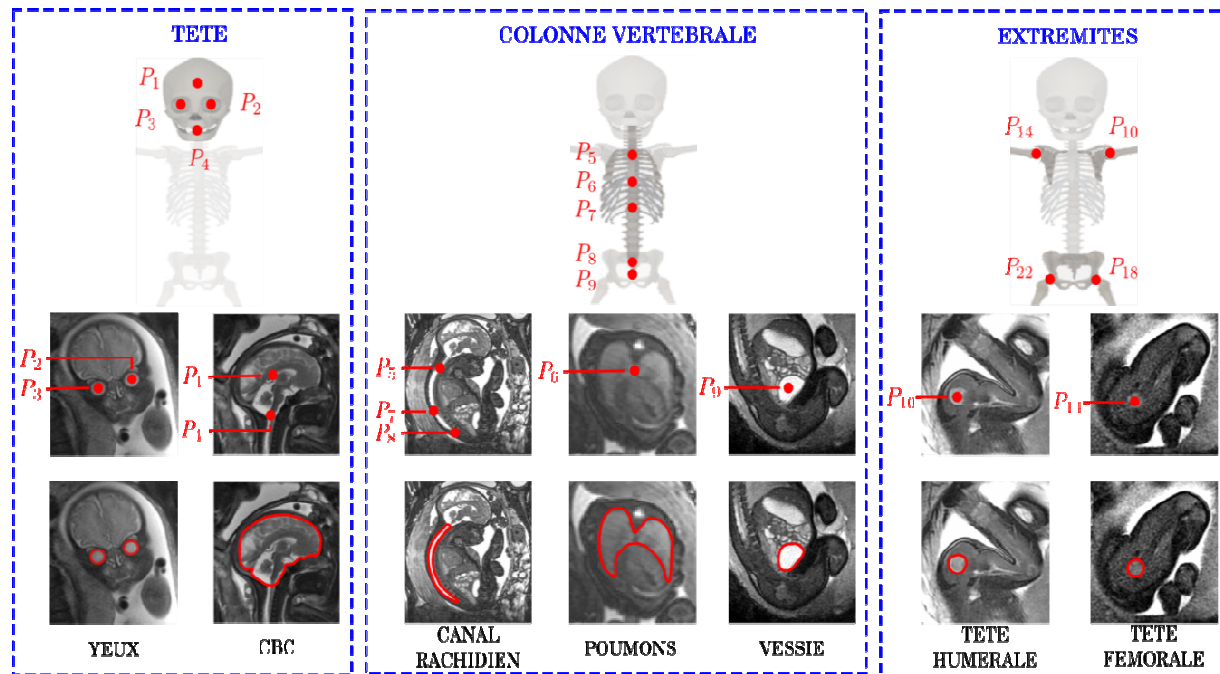


2. Segmentation des images IRM (1/4)



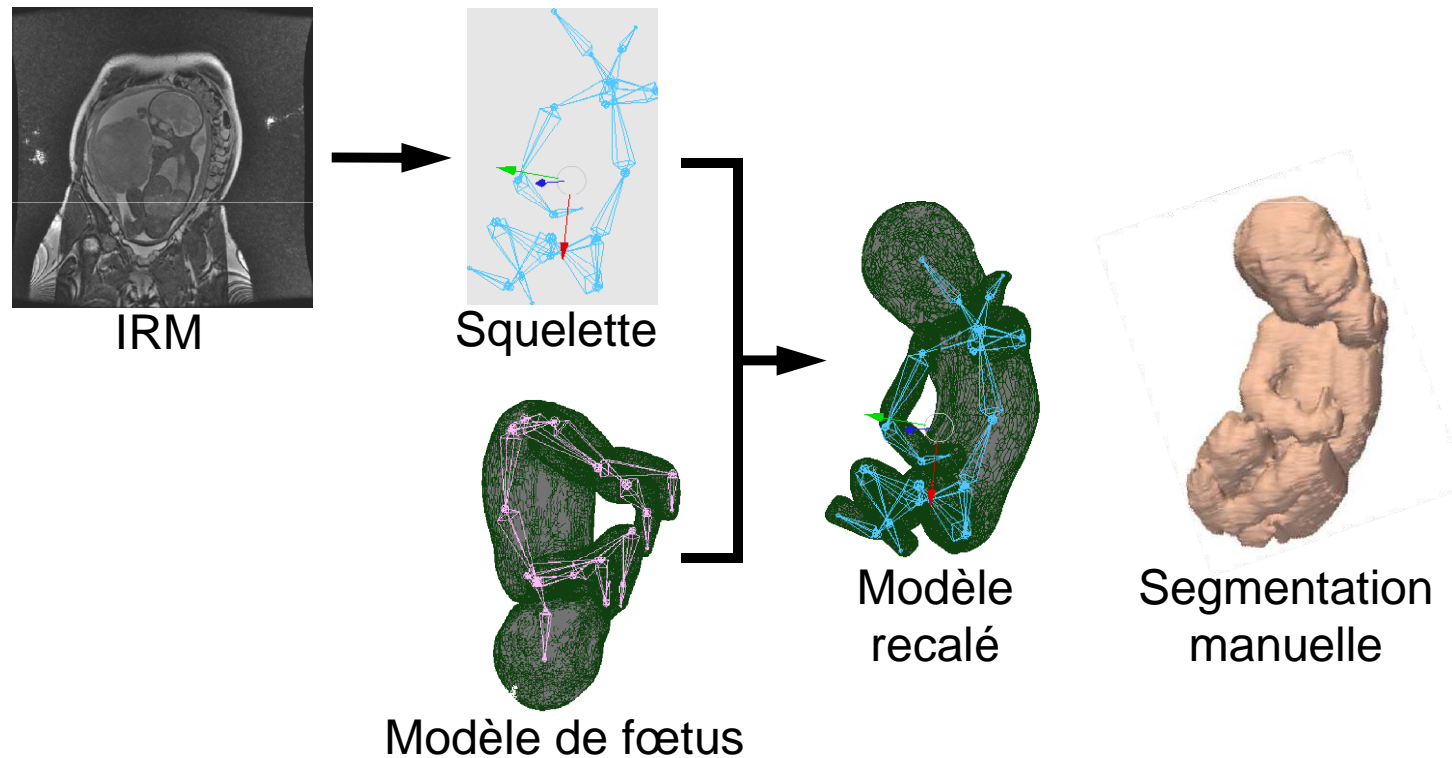
2. Segmentation des images IRM (2/4)

- Détection des points remarquables en segmentant les structures dans lesquelles ils sont localisés.
- Exploitation de connaissances **biométriques**, d'informations sur la **forme** et le **contraste**.



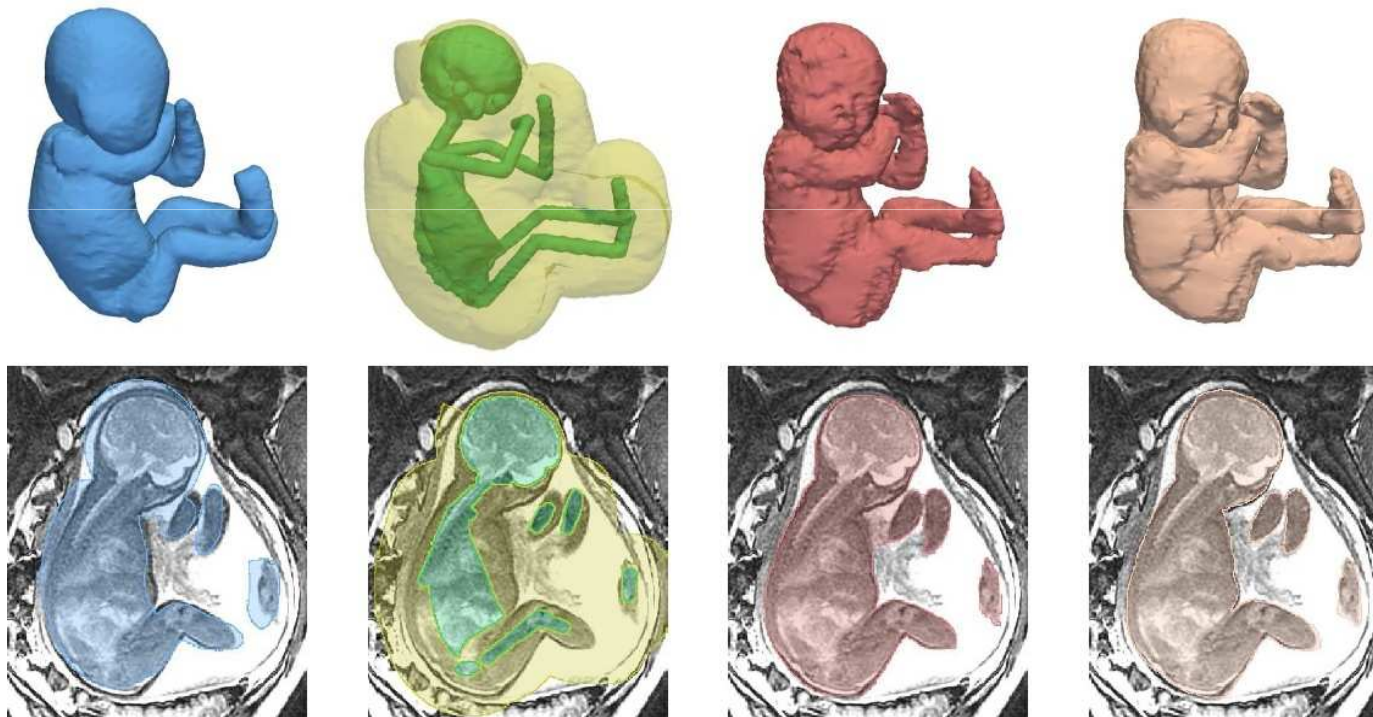
2. Segmentation des images IRM (3/4)

- Recalage du squelette d'un modèle articulé de fœtus sur le squelette extrait dans l'image.

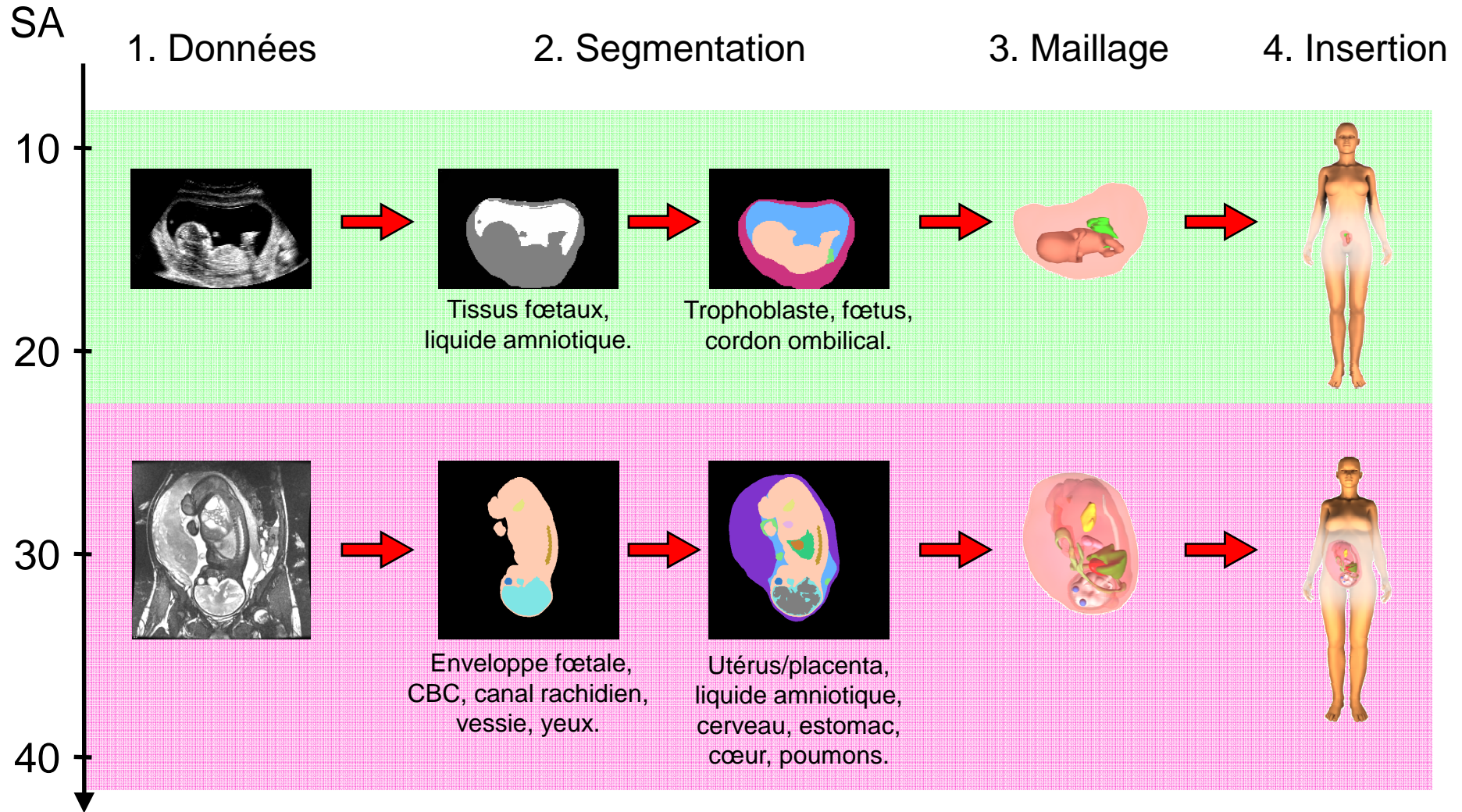


2. Segmentation des images IRM (4/4)

- Définition d'une bande étroite de segmentation.
- Segmentation par coupure de graphe.

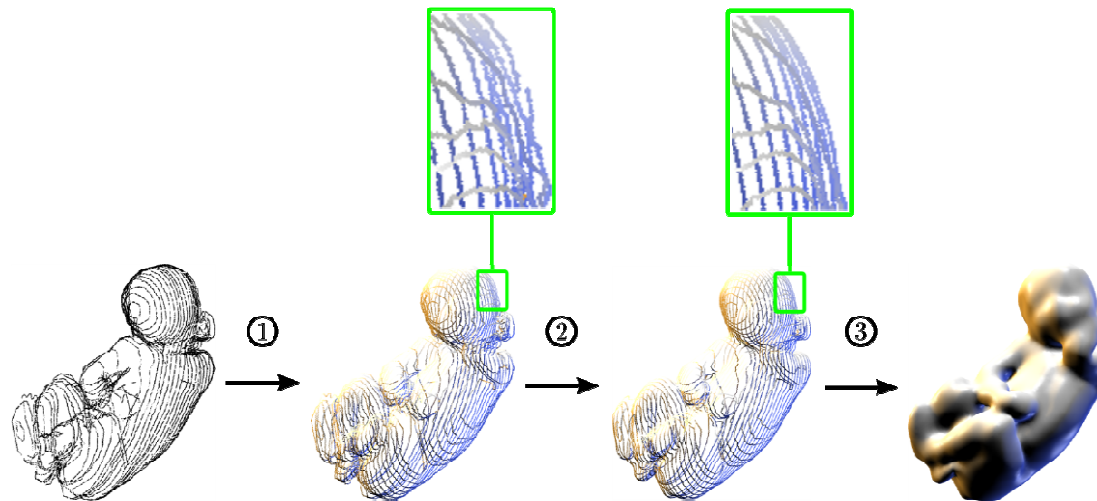


Approche proposée

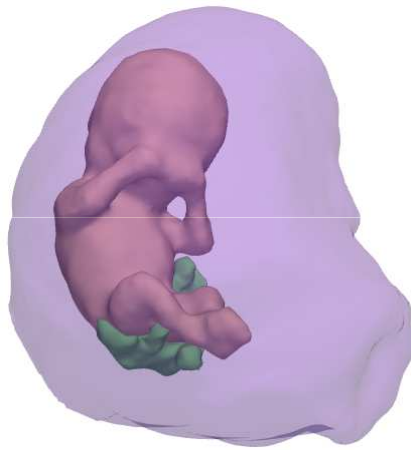


3. Maillage (1/2)

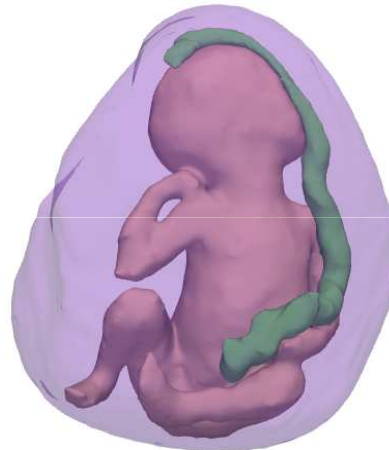
- **Objectif** : générer des modèles réguliers et faciliter la construction des modèles de femme enceinte.
- **Méthode** : utilisation des moindres carrés glissants (géométrie numérique) pour obtenir des maillages denses et réguliers des structures de l'UUPF.



3. Maillage (2/2)



13 SA (US3D)



23 SA (IRM)



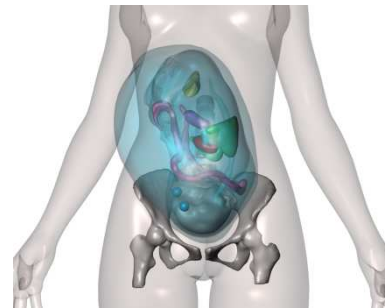
31 SA (IRM)
jumeaux

4. Insertion (1/2)

- Modèle de femme synthétique : Victoria (www.daz3d.com).
- Automatisation de l'insertion des modèles de l'UUPF dans Victoria et déformation avec le logiciel SOFA (www.sofa-framework.org).



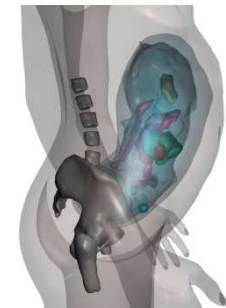
Insertion d'un squelette partiel dans Victoria



Recalage automatique de l'UUPF



Déformation automatique de l'abdomen



4. Insertion (2/2)

- 4 modèles construits à partir d'images US3D (8 à 12 SA).
- 12 modèles construits à partir d'images IRM (26 à 35 SA).



Ultrasons 3D (12 SA)



IRM (35 SA)

Dosimétrie (1/3)

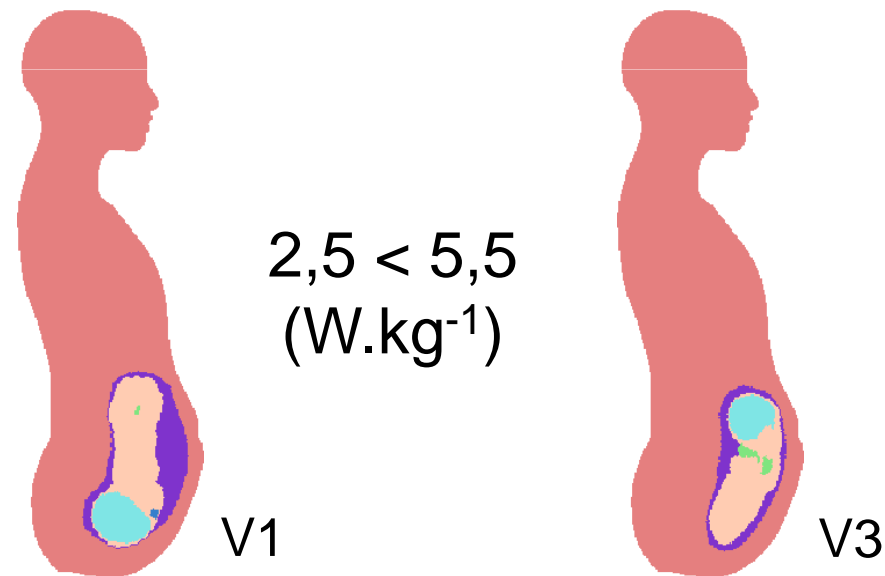
- Résultats préliminaires obtenus sur les 5 premiers modèles construits à partir d'IRM (A. Hadjem, J. Wiart – Orange Labs).
- Exposition du fœtus et de la mère cohérente avec les résultats présentés dans la littérature [Dimbylow 09].

Modèle	V1	V2	V3	V4	V5	M2	M3	M5
Age Gestationnel (SA)	30	32	32	33	34	38	38	26
DAS corps entier - fœtus ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	2,5	4	5,5	2,5	3	3,5	6	2
DAS corps entier - mère ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	17	17	17	14	16	20	18	21
DAS 10 g maximum - fœtus ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	15	21	28	21	16	20	38	7
DAS 10 g maximum - mère ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	591	739	676	651	658	-	-	-

Evaluation du DAS. Champ électromagnétique émis par une source lointaine (1 V/m ; 900 MHz)

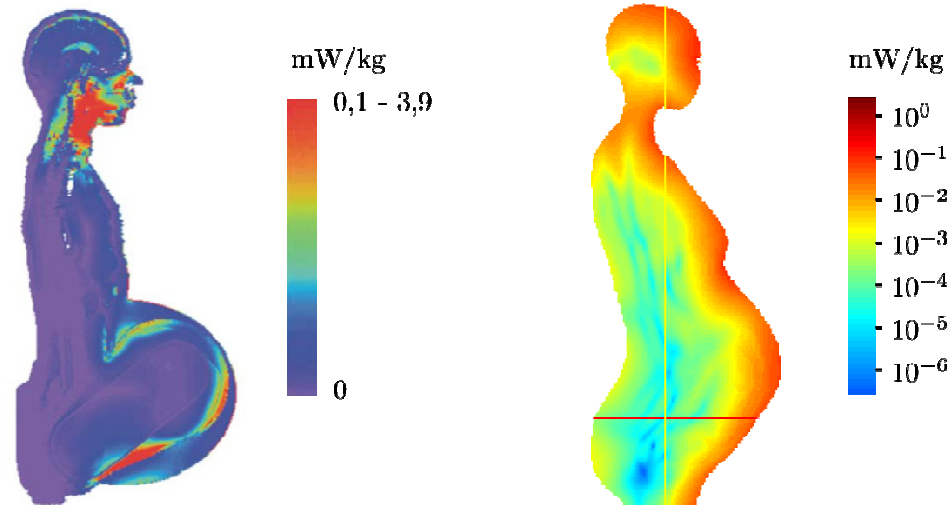
Dosimétrie (2/3)

- Mise en évidence de l'influence de la position foétale et de l'agencement des structures de l'UUPF.
- DAS plus élevé dans V3 que dans V1 :



Dosimétrie (3/3)

- L'utilisation d'un modèle de femme homogène a une influence sur la distribution du DAS.
- Sous-estimation du DAS corps entier de la mère dans les modèles ?



NAOMI (hétérogène) VICTORIA (homogène)

Perspectives

- Automatisation accrue de la méthodologie de construction des modèles à partir d'images obstétriques.
- Variabilité anatomique maternelle : ajout de la graisse.
- Exploitation clinique des modèles et des outils de segmentation (évaluation du poids fœtal, simulation d'examen échographique...).
- Nouveaux projets et extension des collaborations :
 - Financement Carnot (recrutement d'un ingénieur de recherche).
 - Projet ANR KidPocket.
 - Financement Orange Labs.
 - Laboratoire commun WHIST Lab (Télécom ParisTech – Orange Labs).
 - Collaboration avec le NICT et l'université de Chiba (Japon) dans le cadre d'un nouvel appel d'offre ANR .

1. J. Anquez, E. Angelini, I. Bloch, V. Merzoug, A. Bellaïche-Millischer et C. Adamsbaum, *Interest of the Steady State Free Precession (SSFP) sequence for 3D modeling of the whole fetus* (EMBC'07).
- ① 2. J. Anquez, E. Angelini, I. Bloch, V. Merzoug, A. Bellaïche-Millischer et C. Adamsbaum *In vivo 3D modeling of the fetus with MRI* (ESPR'08).
3. D. Ghorbel, J. Anquez, V. Merzoug, C. Falip, E. Angelini, I. Bloch, et C. Adamsbaum, *Quelle séquence T2 pour le poumon foetal ?* (JFR'08).
- ② 4. J. Anquez, E. Angelini et I. Bloch, *Segmentation of fetal 3D ultrasound images based on statistical prior and deformable model* (ISBI'08).
5. J. Anquez, E. Angelini et I. Bloch, *Automatic segmentation of head structures on fetal MRI* (ISBI'09).
6. L. Bibin, J. Anquez, E. Angelini et I. Bloch, *Hybrid 3D modeling of mother and fetus from medical imaging for dosimetry studies* (CARS'09).
- ③ 7. L. Bibin, J. Anquez, E. Angelini et I. Bloch, *Hybrid 3D pregnant woman and fetus modeling from medical imaging for dosimetry studies* (International Journal of CARS'09).
8. J. Anquez, T. Boubekour, L. Bibin, E. Angelini et I. Bloch, *Utero-fetal unit and pregnant woman modeling using a computer graphics approach for dosimetry studies* (MICCAI'09).
9. L. Bibin, J. Anquez, A. Hadjem, E. Angelini, J. Wiart, et I. Bloch, *Dosimetry studies on a fetus model combining medical image information and synthetic woman body* (WC'09).
- ④ 10. J.P. de la Plata, L. Bibin, J. Anquez, T. Boubekour, E. Angelini et I. Bloch, *Automatic physically-based modeling of the pregnant woman for dosimetry studies* (soumis à ISBMS'10).

-
1. Présentation orale au Workshop on Anatomical Models (Inria).
 2. Poster à la conférence MICCAI'09.
 3. Présentation orale à la conférence WC'09.
 4. Poster à la conférence CARS'09 (prix du meilleur poster).

Questions ?



Merci à nos partenaires !



- Hôpitaux St Vincent de Paul (C. Adamsbaum, V. Merzoug, A. Bellaïche-Millischer , C. Falip), Cochin Port-Royal (G. Grangé) et Beaujon (D. Luton, D. Pognot, G. Ducarme, A. Ottenwaelter) : construction de modèles représentatifs, obtention de données, validation des segmentations, évaluation des modèles.
- Philips Healthcare (O. Gérard, A. Collet-Billon) : obtention de données.