



S F R R P

Journées codes de calcul en radioprotection, radiophysique et dosimétrie, Paris, 25 Mars 2014

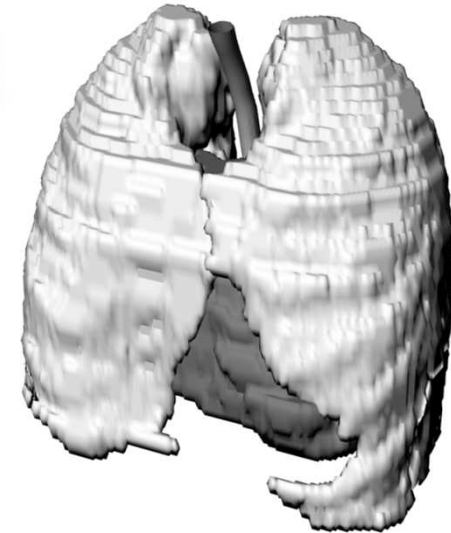
Modélisation en 4D des organes du thorax par réseaux de neurones artificiels

*Pierre-Emmanuel LENI¹, Rémy LAURENT¹,
Michel SALOMON², Régine GSCHWIND¹, Libor MAKOVICKA¹, Julien HENRIET¹*

Contexte

- Evolution des fantômes numériques

- Mathématiques
- Voxelisés
- Hybrides (NCAT, ...)
 - En mouvement (XCAT, ...)



- THORAX 4D (Projet INSERM)

- Adaptation personnalisée des fantômes de l'IRSN (EquiVox)
 - Reconstitution d'accidents radiologiques
- Mouvement respiratoire des organes (NEMOSIS)
 - Limiter l'exposition des patients en imagerie

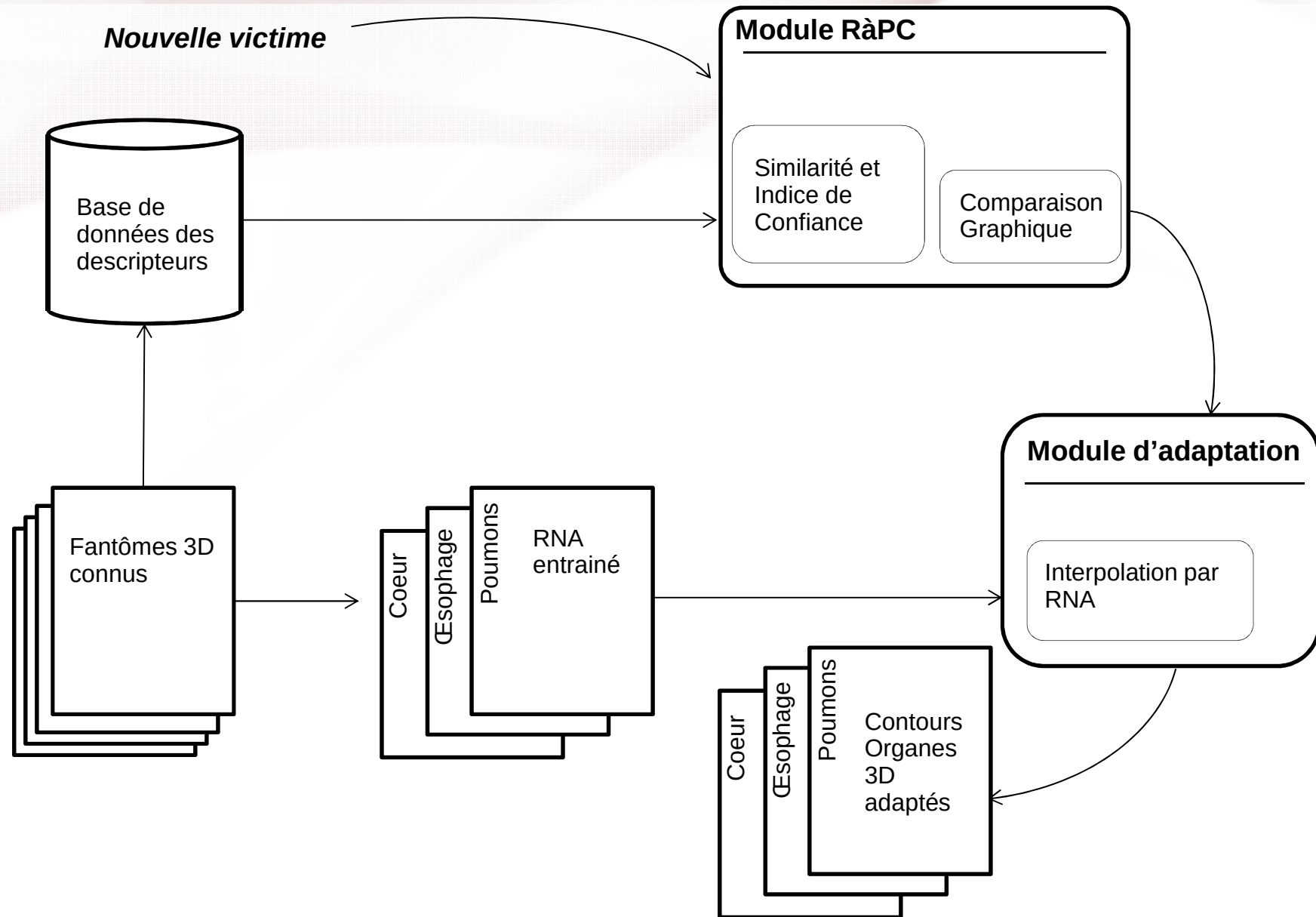
Développements des RNA dans l'équipe

- Eprouvés dans l'équipe (thèses 2007, 2009, 2011)
- Applications
 - Dosimétrie
 - Radiothérapie
 - Radioprotection
- Dépôts logiciels
 - NEURAD
 - NEMOSIS
 - EquiVox

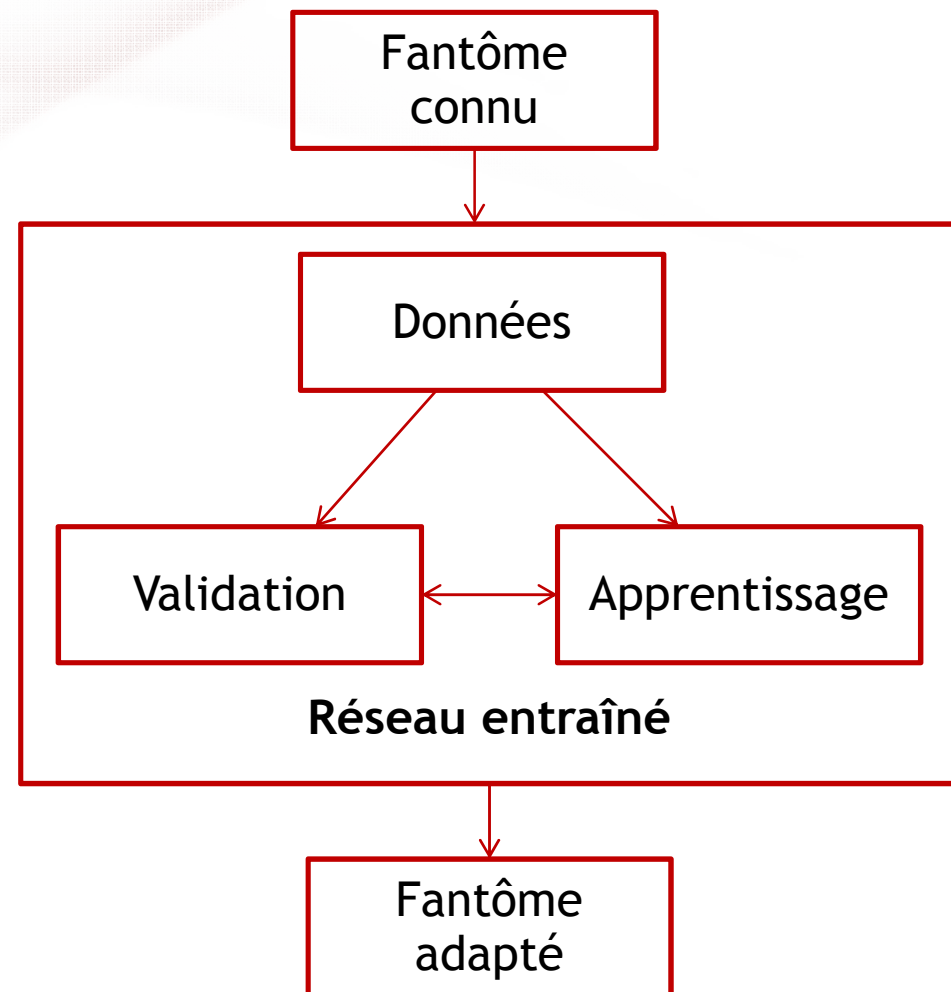
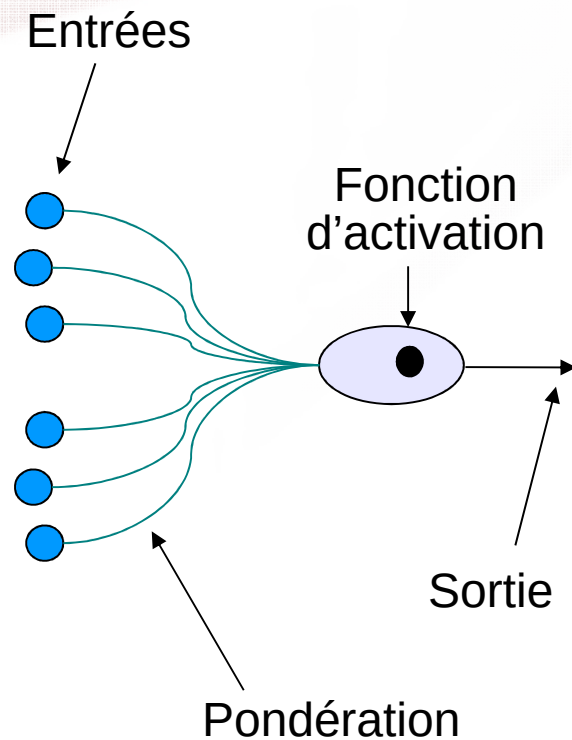
EquiVox

EquiVox

Architecture



Réseau de neurones

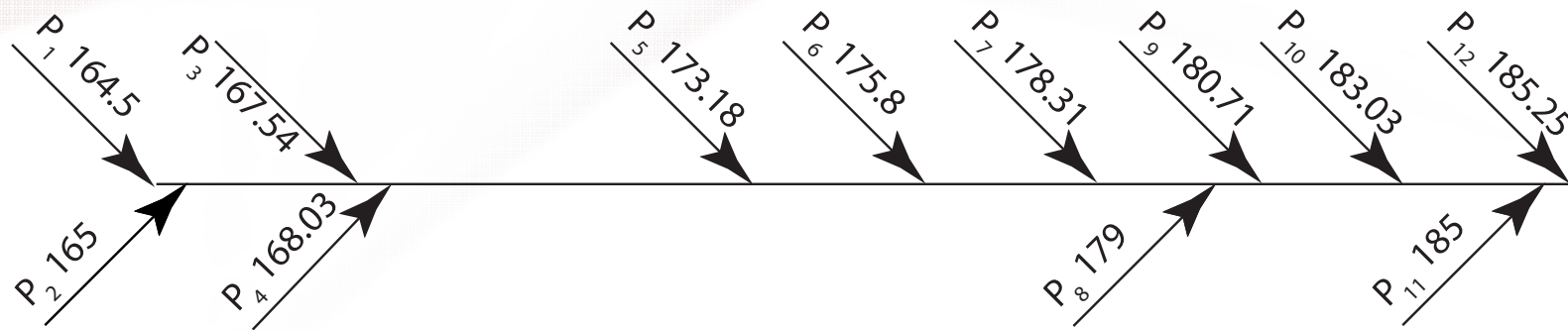


Application

- 3 organes :
 - Poumons (26723 points)
 - Cœur (7895 points)
 - Œsophage (7486 points)
- Temps de calcul :
 - Apprentissage : 2 à 15 jours sur le mésocentre de l'UFC,
 - Exécution : 1 à 2 secondes sur un portable.

Application

- Corrélation volume/taille [1]



- 5 entrées : x , y , z , h_s , $\Delta h = h_t - h_s$
- 2 configurations :
 - $\Delta h > 0$,
 - $\Delta h < 0$.
- Fantômes de validation : P_3 , P_4 , P_7 , P_9 .

Résultats (en cm)

	Validation			
Victime	167.54	168.03	178.31	180.71
165	0.020	0.008	0.047	0.026
167.54		0.071	0.073	0.041
168.03	0.021		0.017	0.026
173.18	1.427	0.049	0.929	0.130
	Validation			
Victime	167.54	168.03	178.31	180.71
165	0.003	0.004	0.002	0.001
167.54		0.024	0.009	0.010
168.03	0.005		0.010	0.001
	Validation			
Victime	167.54	168.03	178.31	180.71
165	0.004	0.006	0.004	0.002
167.54		0.043	0.016	0.003
168.03	0.009		0.003	0.002
173.18	0.024	0.039	0.064	0.012
175.8	0.007	0.004	0.006	0.007
178.31	0.003	0.002		0.003
179	0.004	0.002	0.007	0.006
180.71	0.018	0.002	0.002	
183.03	0.026	0.032	0.005	0.008
185	0.004	0.002	0.003	0.003
185.25	0.009	0.009	0.002	0.004

Poumons $\Delta h > 0$

	Validation			
Victime	167.54	168.03	178.31	180.71
164.5	0.010	0.018	0.109	0.024
165	0.032	0.054	0.130	0.094
167.54		0.017	0.067	0.020
168.03	0.075		0.219	1.048
	Validation			
Victime	167.54	168.03	178.31	180.71
164.5	0.002	0.001	0.001	0.001
165	0.002	0.003	0.008	0.001
167.54		0.002	0.001	0.003
	Validation			
Victime	167.54	168.03	178.31	180.71
164.5	0.003	0.002	0.006	0.004
165	0.004	0.003	0.003	0.008
167.54		0.004	0.003	0.003
168.03	0.013		0.045	0.004
173.18	0.004	0.005	0.003	0.007
175.8	0.007	0.006	0.007	0.006
178.31	0.008	0.006		0.011
179	0.009	0.006	0.009	0.004
180.71	0.025	0.004	0.005	
183.03	0.020	0.012	0.015	0.009
185	0.007	0.007	0.005	0.007

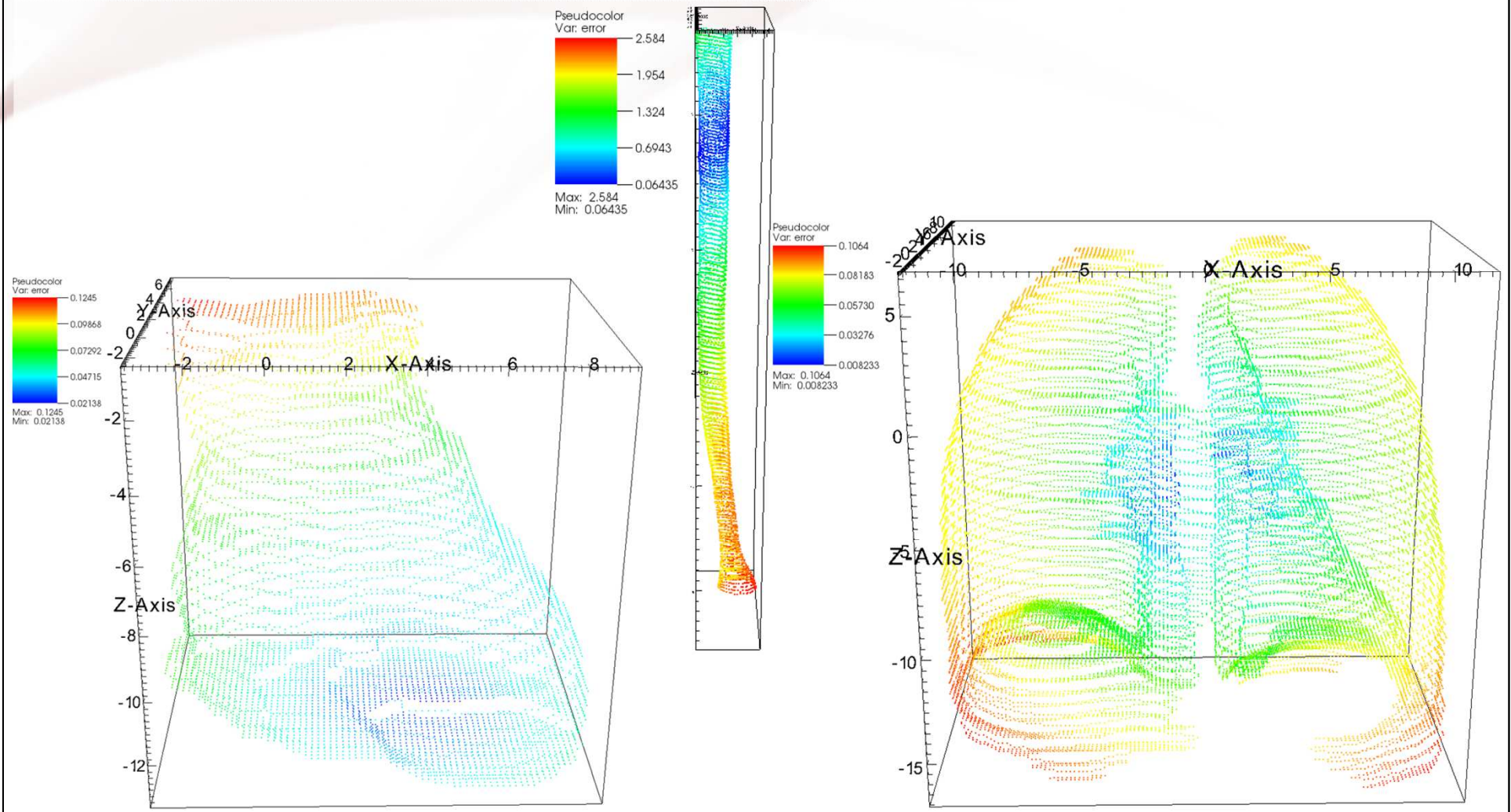
Poumons $\Delta h < 0$

Résultats

- La précision dépend de l'ensemble de validation.
- Les meilleures interpolations sont obtenues en général pour $\Delta h > 0$.
- Taille des voxels : $1.8 \times 1.8 \times 4.8 \text{ mm}^3$.
- Il existe des ensembles d'apprentissage/validation permettant d'obtenir une erreur moyenne $< 1.8 \text{ mm}$ pour les 3 organes.

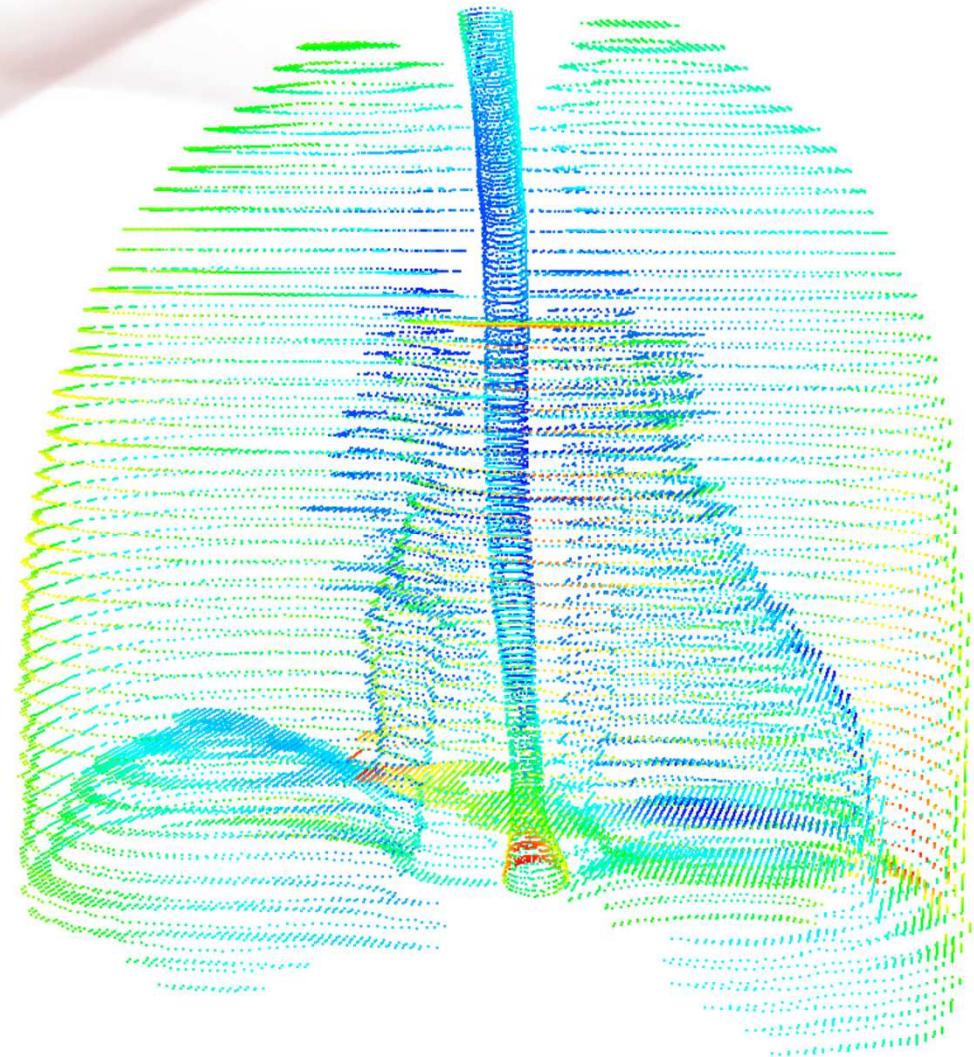
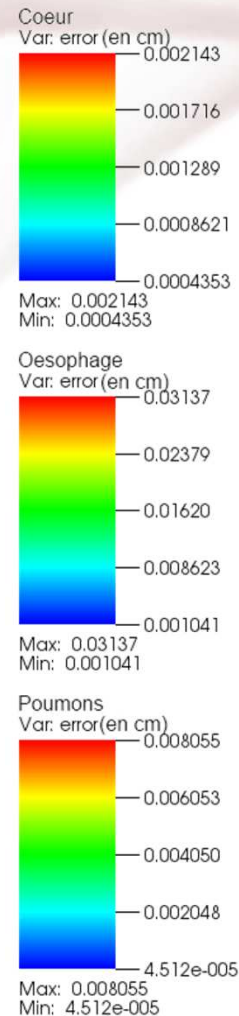
Résultats

- Dans le pire des cas, la forme est préservée.



Résultats

- Reconstruction pour une victime de 1m73.



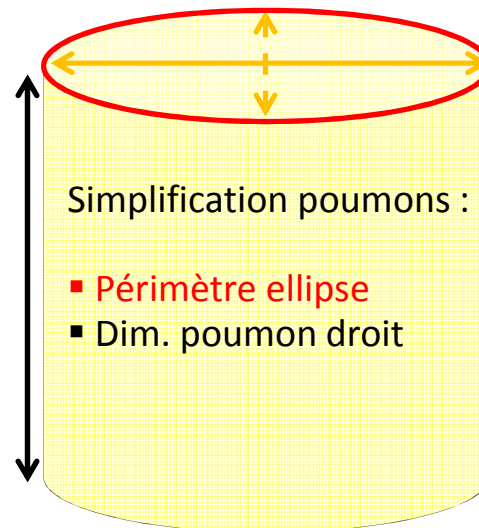
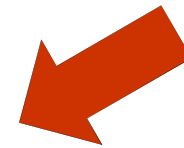
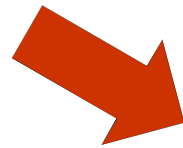
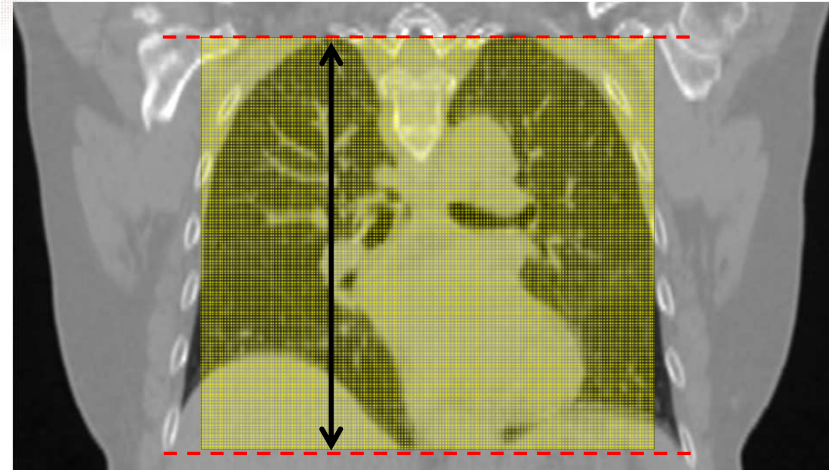
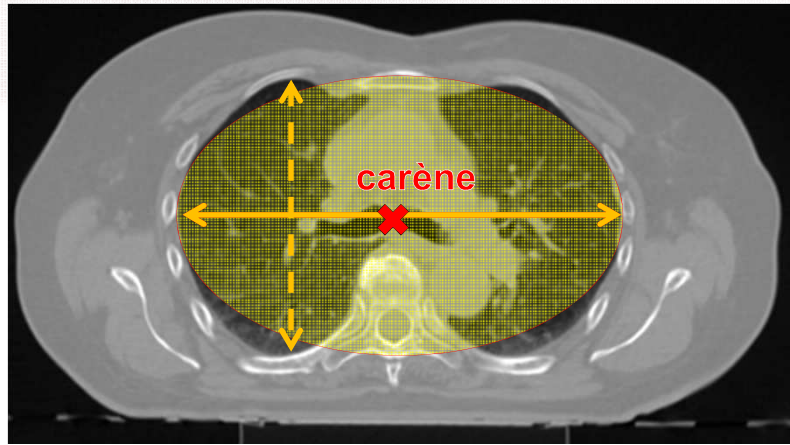
NeMoSiS

TAGSTAT0282

Motivations

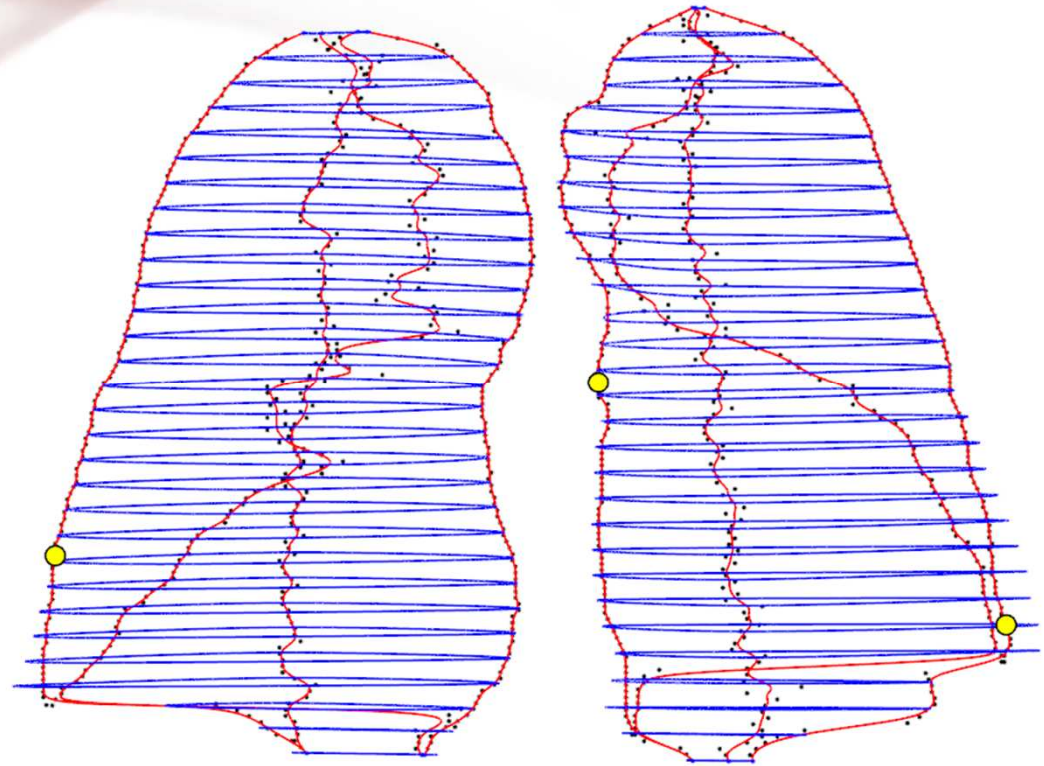
- Prendre en compte le mouvement pendant la radiothérapie :
 - Assurer une dose maximum dans la tumeur,
 - Réduire la dose dans les tissus sains environnants,
 - Réduire la dose générée par les outils de diagnostique.
- Simulation personnalisée du mouvement :
 - Précise,
 - Rapide,
 - Moins irradiante (scanner 4D).

Modèle simplifié des poumons



Définition des splines

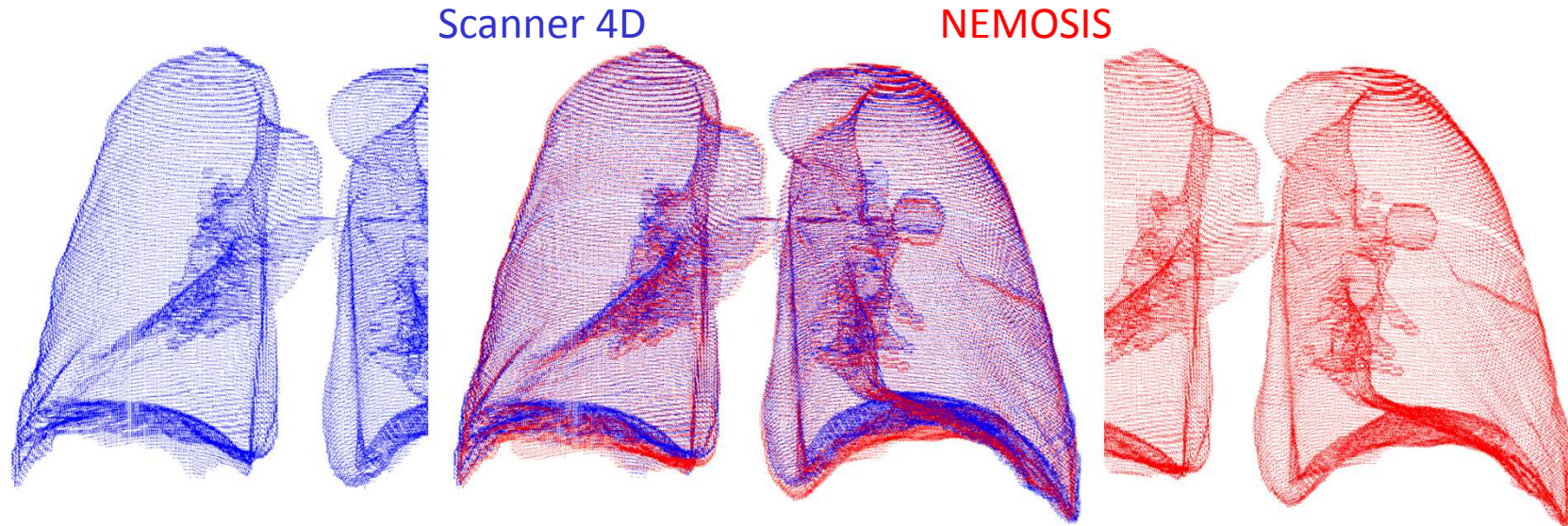
- Segmentation de l'image TDM
- 4 lignes de crête par poumon
- 1 spline par ligne de crête
- Identification spatiale et temporelle de points sur le contour.



Paramètres d'étude

- Utiliser les points anatomiques et des contours:
 - 14 Patients pour l'apprentissage,
 - 2 Patients pour la validation.
- 7 entrées de NEMOSIS :
 - Coordonnées point: x, y, z
 - Cylindre représentatif (périmètre, dimension axe tête-pieds)
 - Volume pulmonaire
 - Phase
- 12 fantômes IRSN
 - 165 à 185 cm

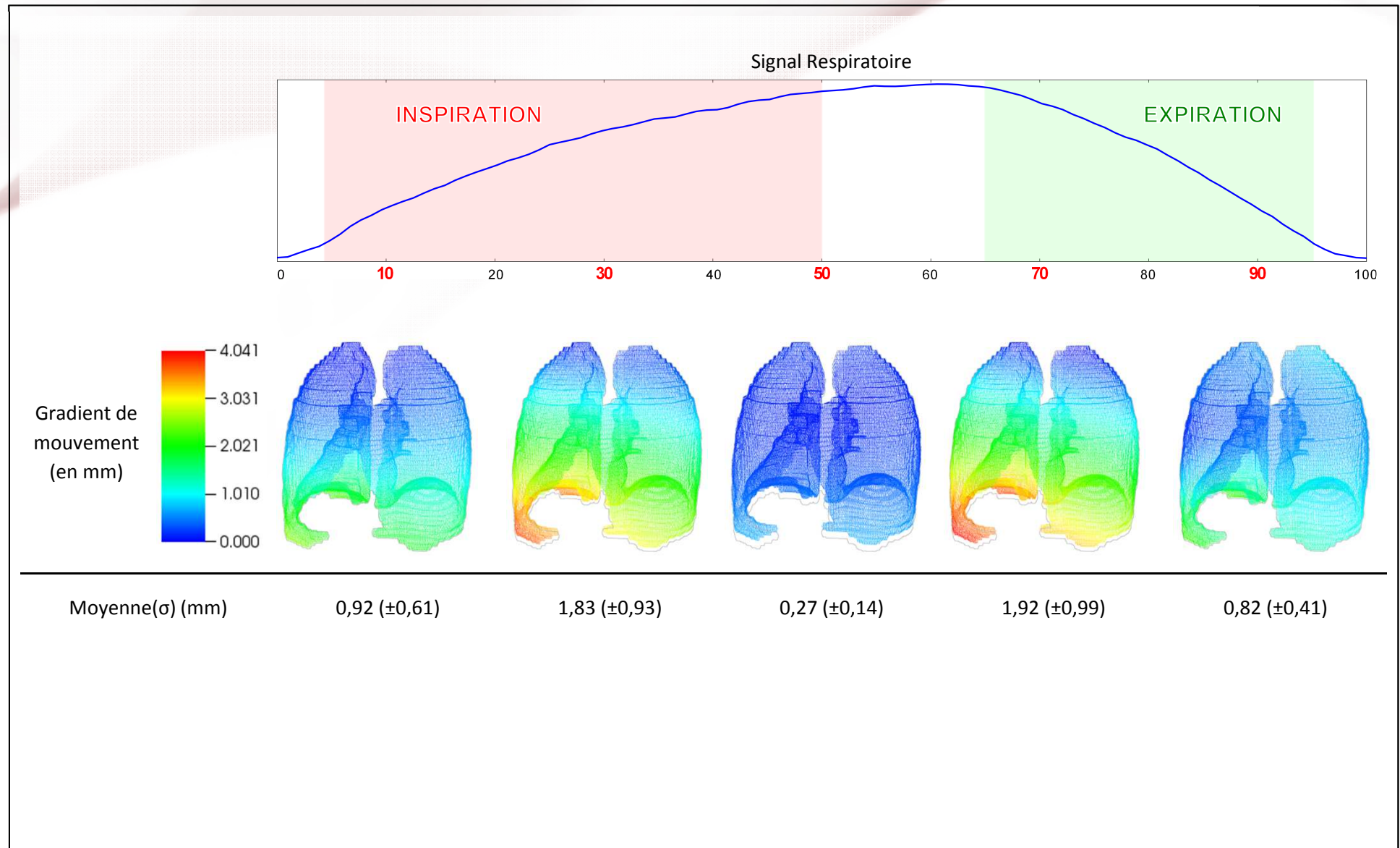
Résultats & Validation : Cas réel



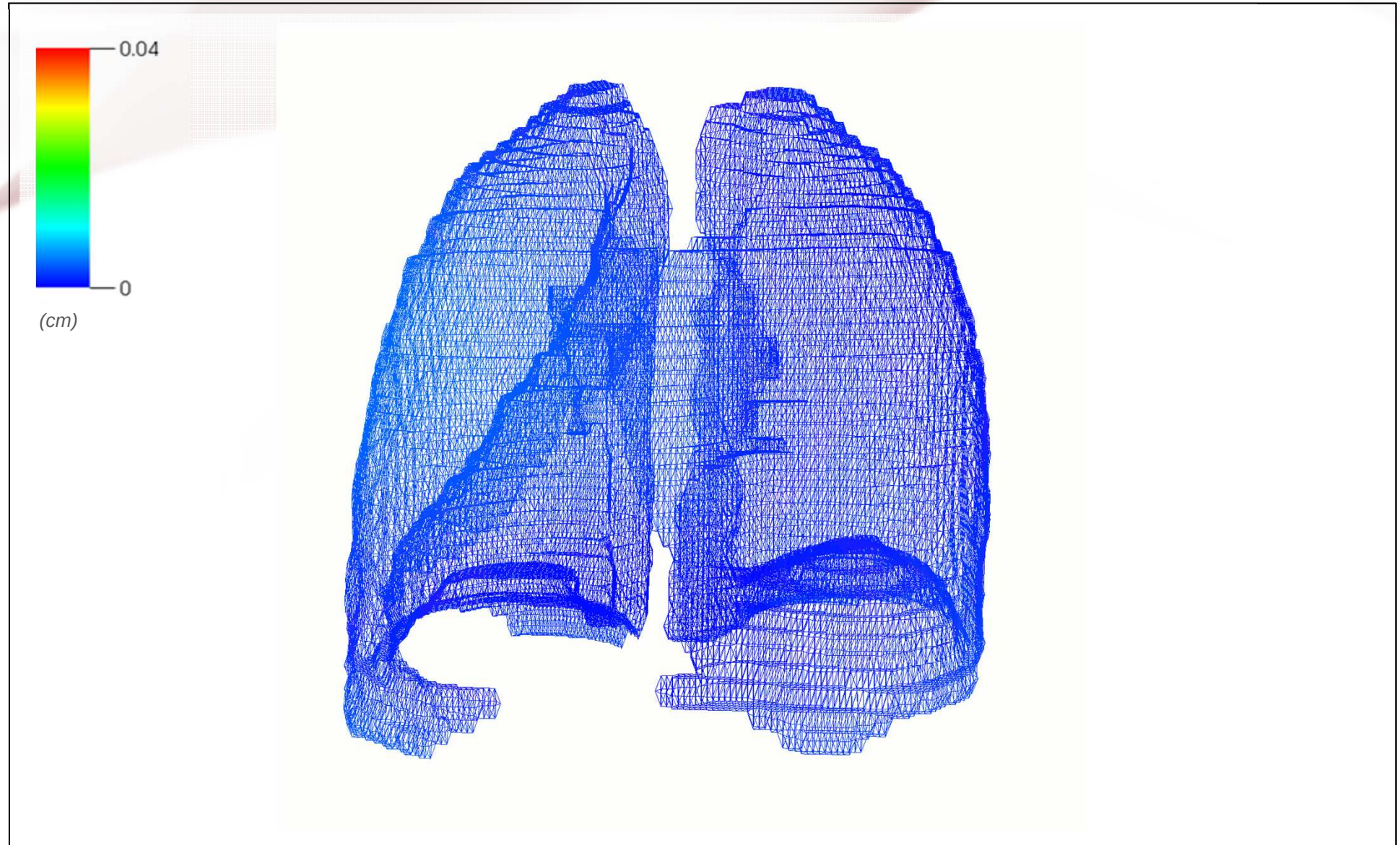
	Phase (%)									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$V_{4D} (I)$	5,69	5,64	5,54	5,44	5,32	5,22	5,19	5,28	5,43	5,57
$V_{NEM} (I)$	5,69	5,63	5,61	5,50	5,45	5,40	5,42	5,49	5,58	5,67
$V_{4D} \cap V_{NEM} (I)$	5,69	5,53	5,43	5,30	5,20	5,15	5,01	5,21	5,39	5,54
$D(V_{4D}, V_{NEM})$	1,00	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,94	0,97	0,98	0,99

$$D(V_{4D}, V_{NEM}) = \frac{2 \cdot \text{card}(V_{4D} \cap V_{NEM})}{\text{card}(V_{4D}) + \text{card}(V_{NEM})}$$

Résultats : fantôme 185 cm

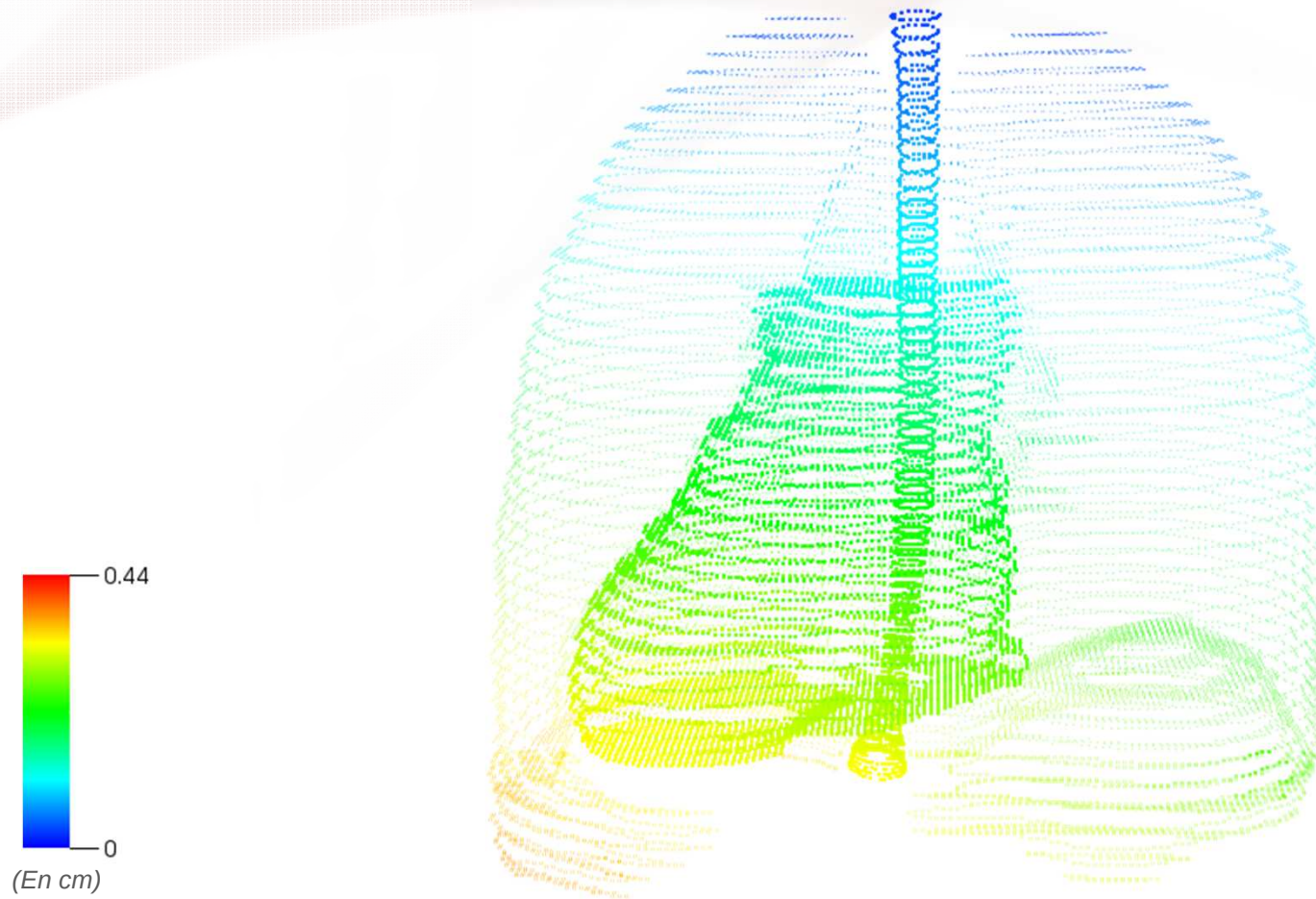


Mouvement du fantôme 185 cm



Simulation de la respiration

- Applications aux autres organes : phase 30% → 40%



Conclusion

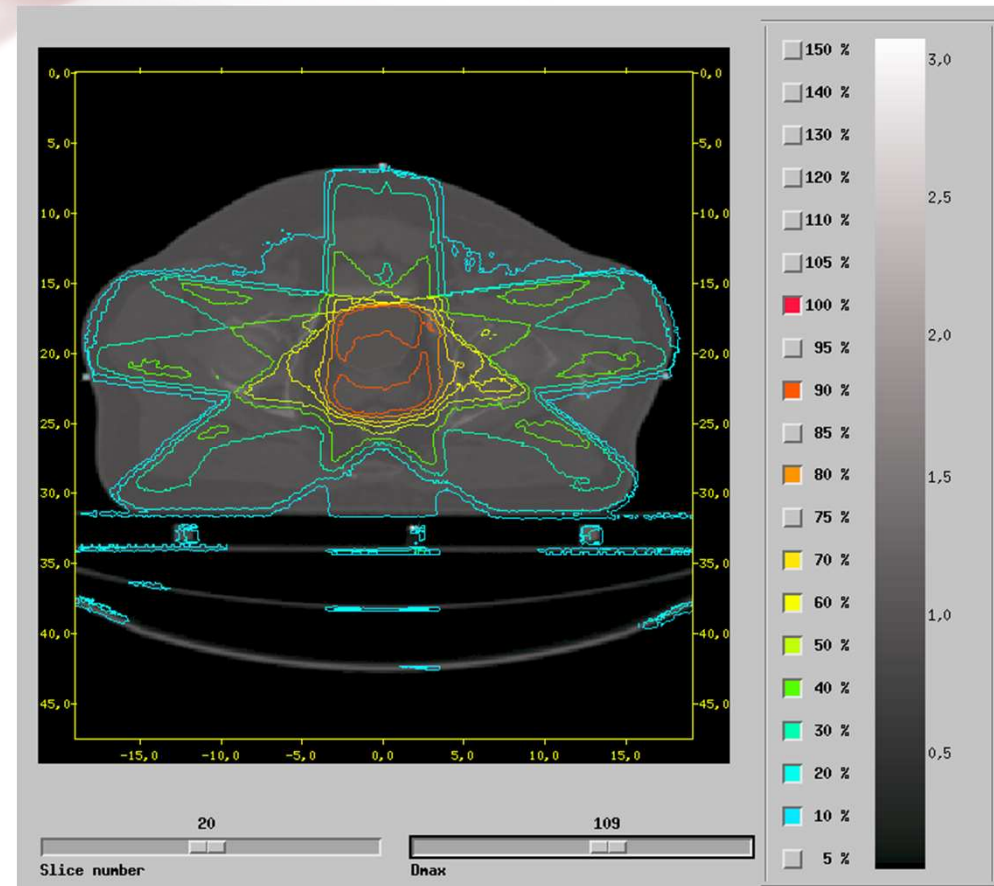
- Avantages :
 - Précision temporelle de la simulation
 - Temps de calcul (< 5 min pour 3×10^6 points)
 - Radioprotection
- Inconvénients :
 - Déformation du diaphragme
 - Dépendances aux données

Perspectives

- Plus de données :
 - un RNA par organe pour le mouvement,
 - Valider le mouvement du cœur et de l'œsophage.
- Détection des collisions entre les organes en mouvement
- EquiVox : Recherche des paramètres optimaux à utiliser en entrées.

Perspectives : RNA pour la radiothérapie

- Basés sur simulations MC
- Calculs de distribution de doses : traitements IMRT
- Rapidité (exemple : 2 minutes)



Merci de votre attention

