



Quelques éléments sur la modélisation en technologies pour la santé

Lotfi Senhadji, LTSI – Inserm – Université de Rennes 1



La modélisation

Description, représentation et prédiction

Symbolique, mathématique, physique, *biologique*, ...

Boite noire, boite grise, boite blanche

Capitaliser des connaissances et émettre des hypothèses



Agrégation de modèles complémentaires pour constituer un modèle d'un système complexe :

Un « double numérique » dans le contexte de la prévention, la prédiction et le traitement personnalisés des maladies.

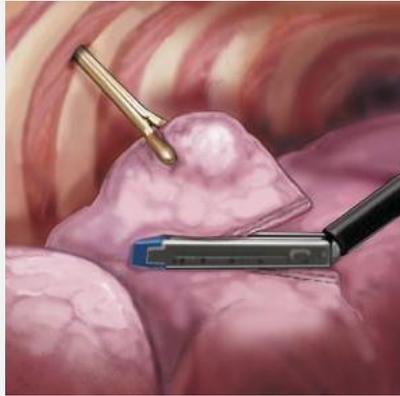
La modélisation : Un axe de recherche et de mise en œuvre transversal aux domaines scientifiques et technologiques couverts par l'ITMO-TS



Quelques exemples : résection d'un nodule pulmonaire par thoraco-scopie vidéo-assistée



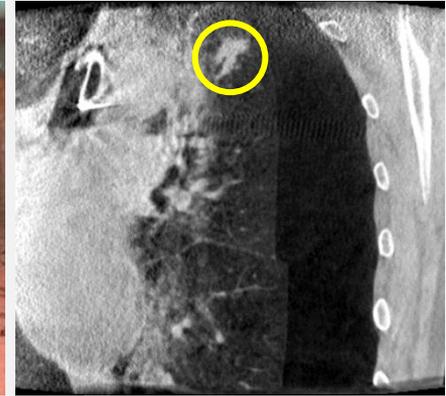
CT Préopératoire



Résection cunéiforme

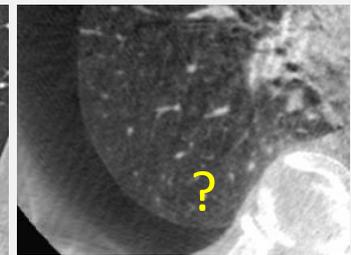
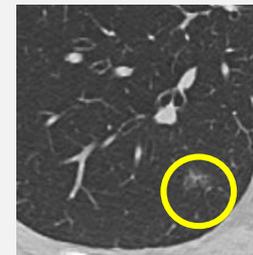


Pneumothorax



CBCT peropératoire

- Importantes déformations du poumon
- Localisation du nodule nécessaire
 - Nodules peu denses/petits



Modélisation biomécanique du poumon pour la localisation peropératoire du nodule



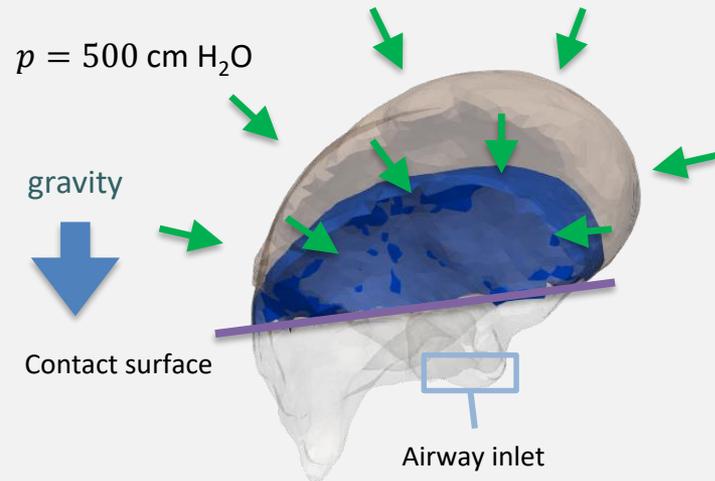
Modèle bi-domaine

Solide (parenchyme) : élasticité linéaire (Biot M., J App Phys, 1941)

Fluide (air) : loi de Darcy modifiée (Miga et al., Trans MI, 1999)

$$\nabla \cdot \left(\frac{E}{2(1+\nu)} \nabla \mathbf{u} \right) + \nabla \frac{E}{2(1+\nu)(1-2\nu)} (\nabla \cdot \mathbf{u}) - \nabla p = -\rho \mathbf{g}$$

$$-\nabla \cdot (k \nabla p) + k_c (p - p_c) = 0$$



- | | | | |
|----------------|---------------------------|---------|------------------------|
| \mathbf{u} : | displacements | p : | interstitial pressure |
| E : | Young's modulus | p_c : | bronchi pressure |
| ν : | Poisson's ratio | k : | hydraulic conductivity |
| \mathbf{g} : | gravitational unit vector | k_c : | bronchi permeability |



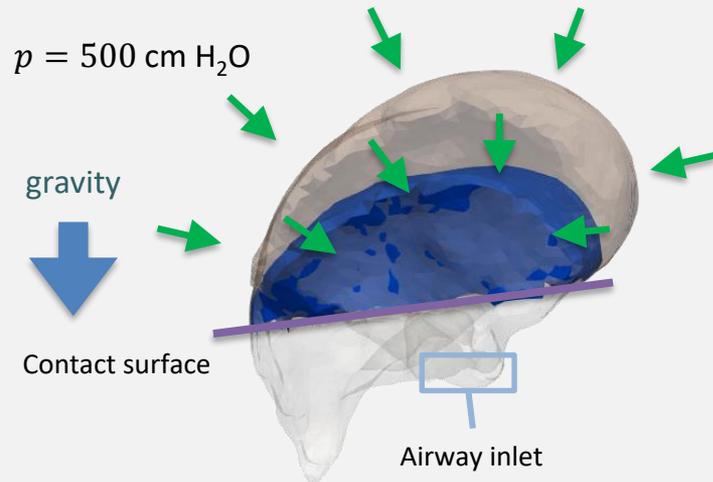
Modèle bi-domaine

Solide (parenchyme) : élasticité linéaire (Biot M., J App Phys, 1941)

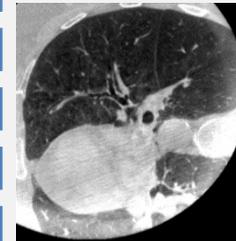
Fluide (air) : loi de Darcy modifiée (Miga et al., Trans MI, 1999)

$$\nabla \cdot \left(\frac{E}{2(1+\nu)} \nabla \mathbf{u} \right) + \nabla \frac{E}{2(1+\nu)(1-2\nu)} (\nabla \cdot \mathbf{u}) - \nabla p = -\rho \mathbf{g}$$

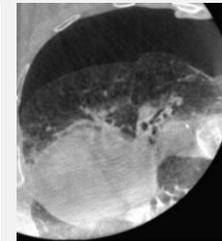
$$-\nabla \cdot (k \nabla p) + k_c (p - p_c) = 0$$



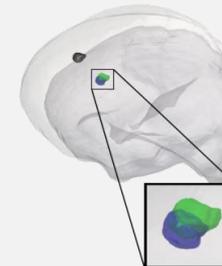
- | | | | |
|----------------|---------------------------|---------|------------------------|
| \mathbf{u} : | displacements | p : | interstitial pressure |
| E : | Young's modulus | p_c : | bronchi pressure |
| ν : | Poisson's ratio | k : | hydraulic conductivity |
| \mathbf{g} : | gravitational unit vector | k_c : | bronchi permeability |



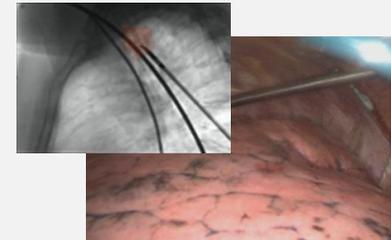
CBCT inflated



CBCT deflated



Biomechanical simulation

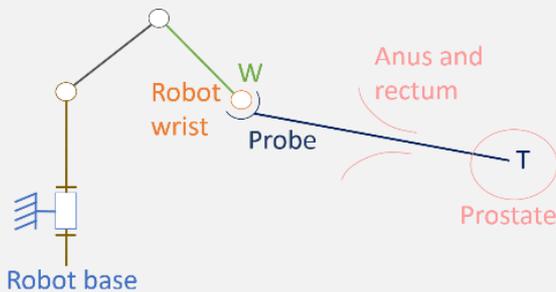


(LaBEX CAMI : TIMC, Grenoble – LTSI, Rennes)

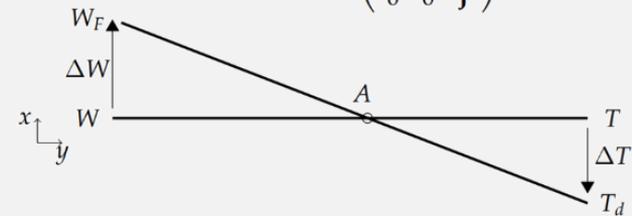


Quelques exemples : Assistance à la biopsie de la prostate par la co-manipulation et asservissement sur l'image échographique

Conception d'un système intégrant une imagerie échographique couplée à un système robotique capable d'identifier en temps réel les changements d'élasticité de l'environnement.



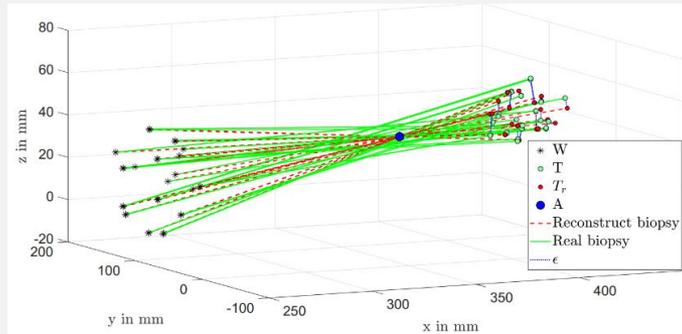
$$\delta T = \mathbf{J} \delta W = \begin{pmatrix} \mathbf{J} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{J} \end{pmatrix} \delta W$$



Positionner précisément une sonde sur une cible définie sur une image échographique grâce à des déplacements automatiques fins d'un robot co-manipulateur.



Quelques exemples : Assistance à la biopsie de la prostate par la co-manipulation et asservissement sur l'image échographique



Limitation du modèle de point fixe

Modélisation Interaction patient / sonde

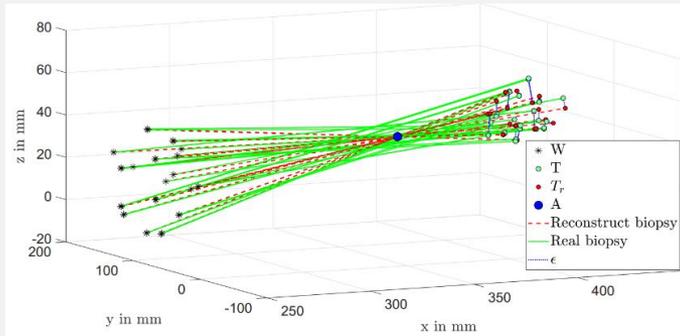
- Modèle bras de levier
- Modèle bras de levier adaptatif en ligne
- Modèle de Broyden adaptatif en ligne

Positionnement précis

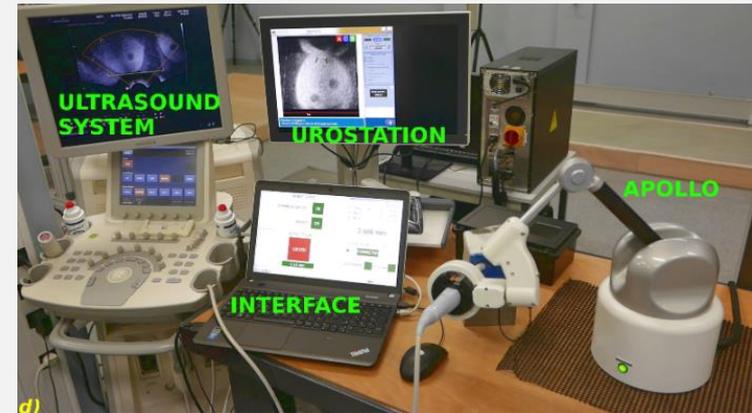
- Commande basée modèle adaptative,
- Extraction des données échographiques,
- Asservissement visuel basé sur l'identification de l'élasticité de l'environnement



Quelques exemples : Assistance à la biopsie de la prostate par la co-manipulation et asservissement sur l'image échographique



Limitation du modèle de point fixe



Modélisation Interaction patient / sonde

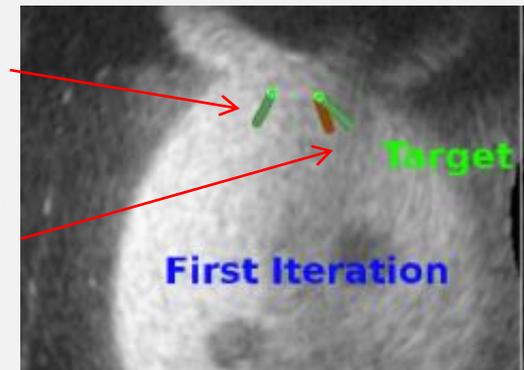
- Modèle bras de levier
- Modèle bras de levier adaptatif en ligne
- Modèle de Broyden adaptatif en ligne

Positionnement précis

- Commande basée modèle adaptative,
- Extraction des données échographiques,
- Asservissement visuel basé sur l'identification de l'élasticité de l'environnement

**Tir du médecin,
sonde positionnée
à la main**

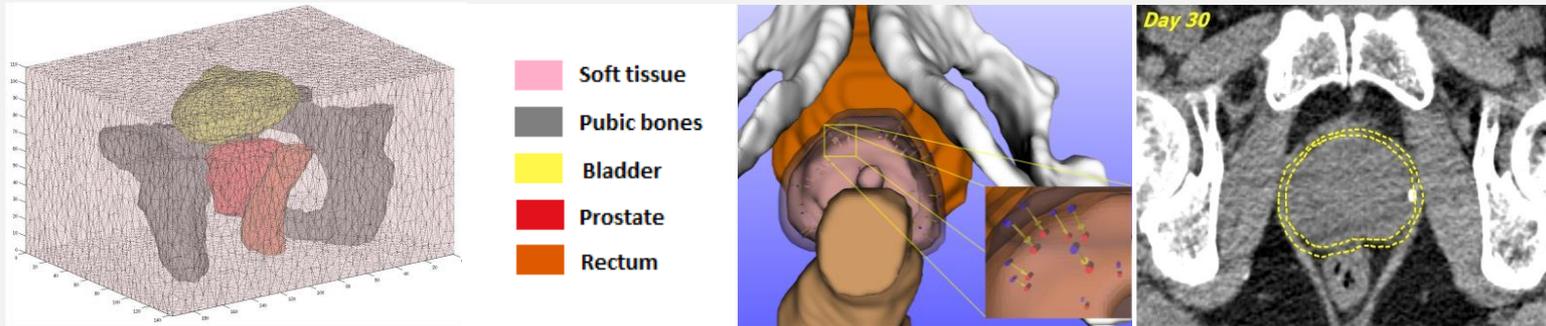
**Tir du robot asservi
avec modèle
augmenté**



(ISIR, Paris)



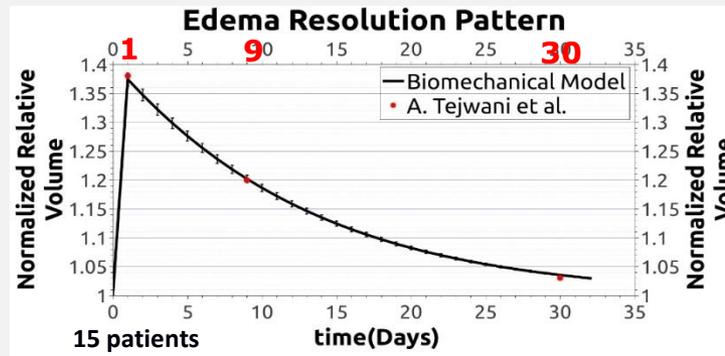
Quelques exemples : Curiethérapie pour le cancer de la prostate



Développement d'un modèle biomécanique prédictif de l'œdème de la prostate patient-spécifique

Clinical study (in progress)

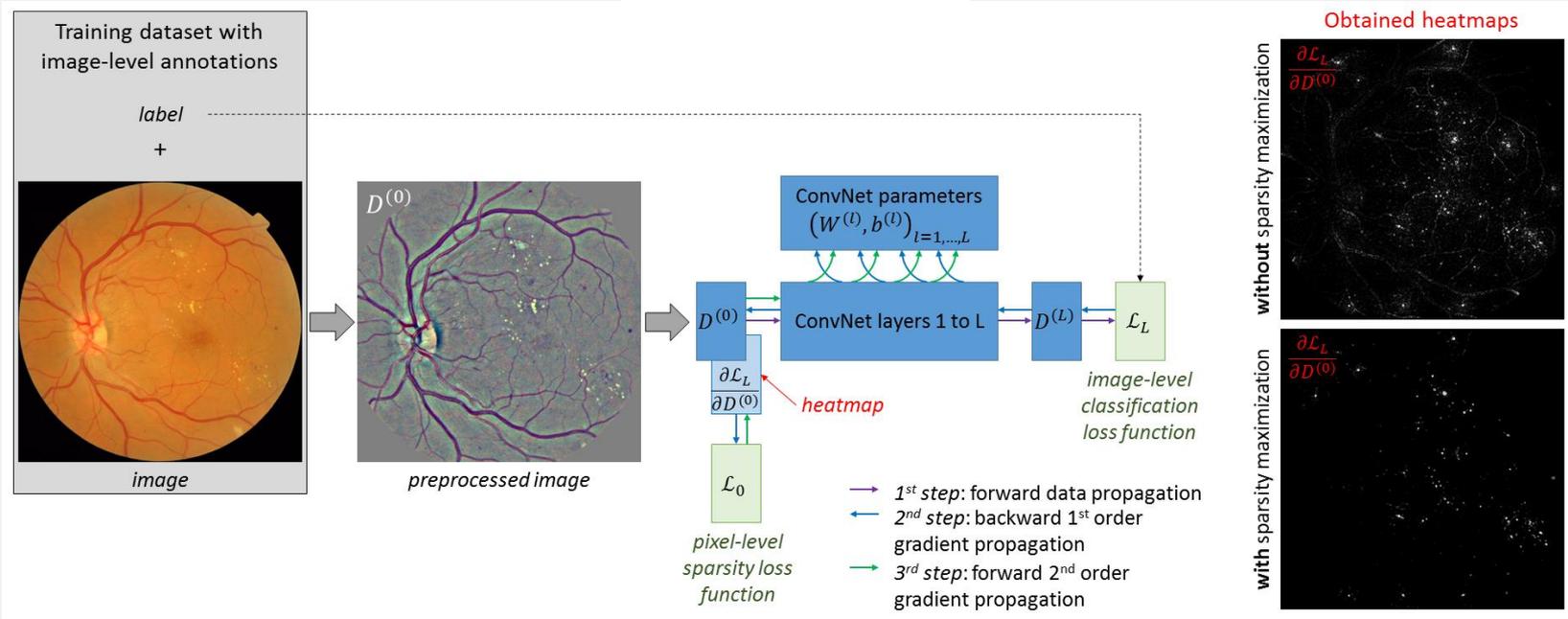
25 patients
IRM: D-, D0, D1, D15, D30
CT: D-, D30
US: Elasto





Quelques exemples : en ophtalmologie

Dépistage de la rétinopathie diabétique par apprentissage profond

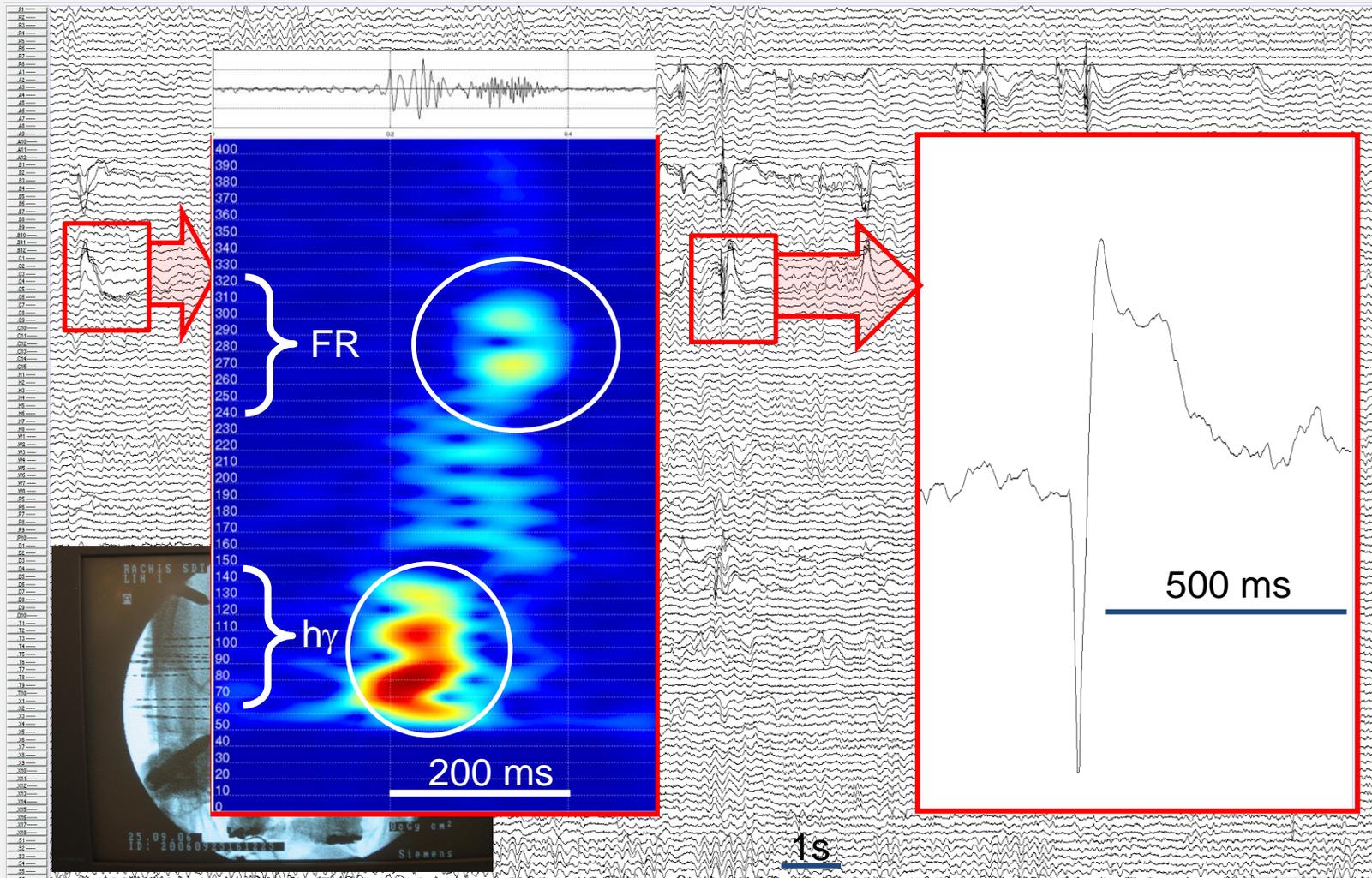


Injection d'une contrainte de parcimonie – adaptation de l'apprentissage ----> Identification des pixels décisionnels

(LaTIM, Brest)

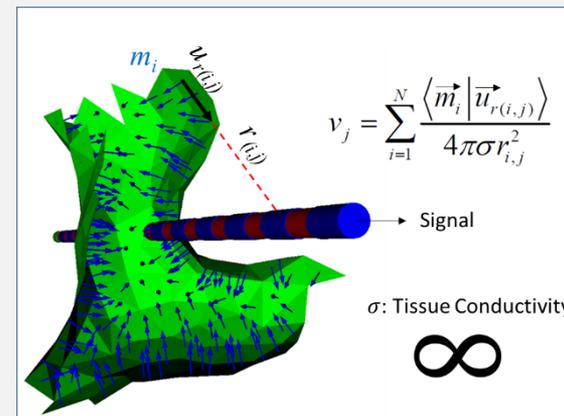
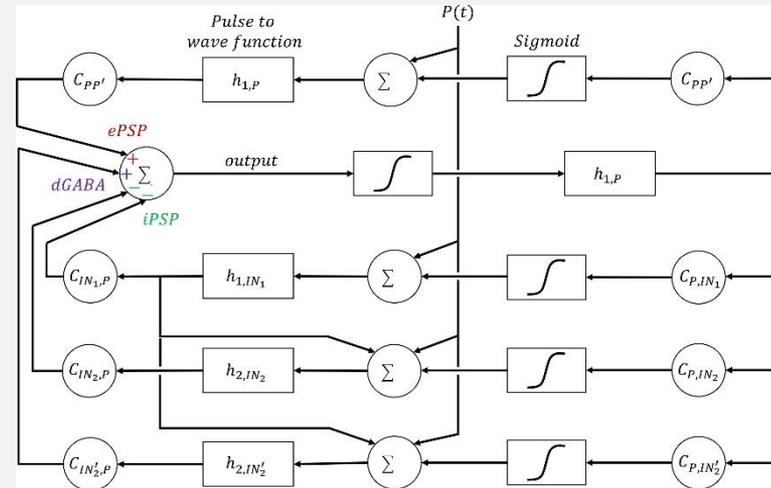
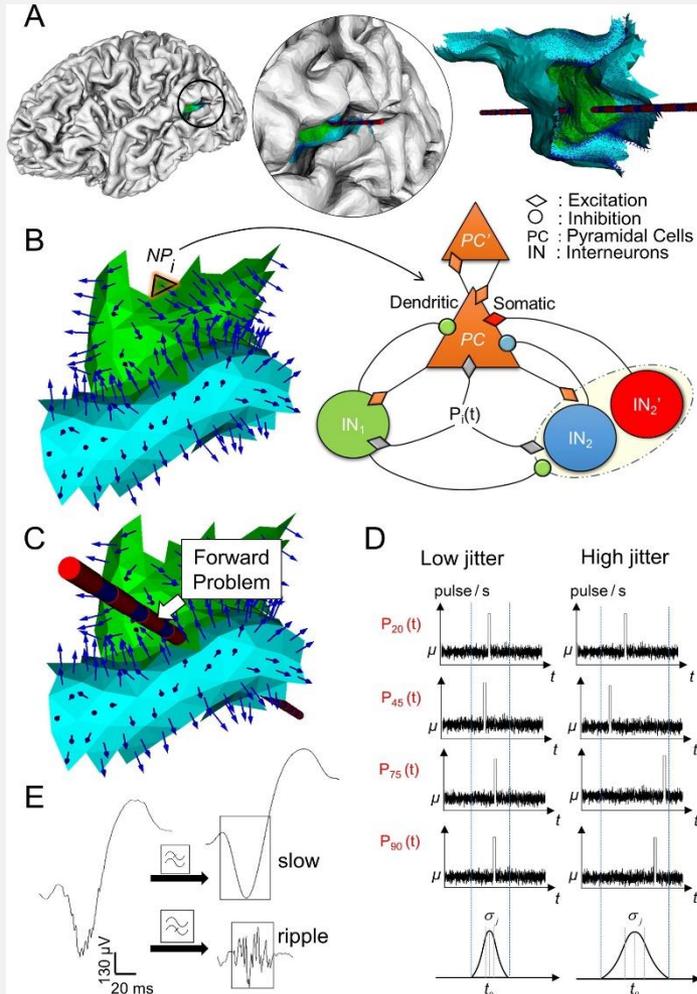


Quelques exemples : Origine des oscillations HF « Fast Ripple » en SEEG



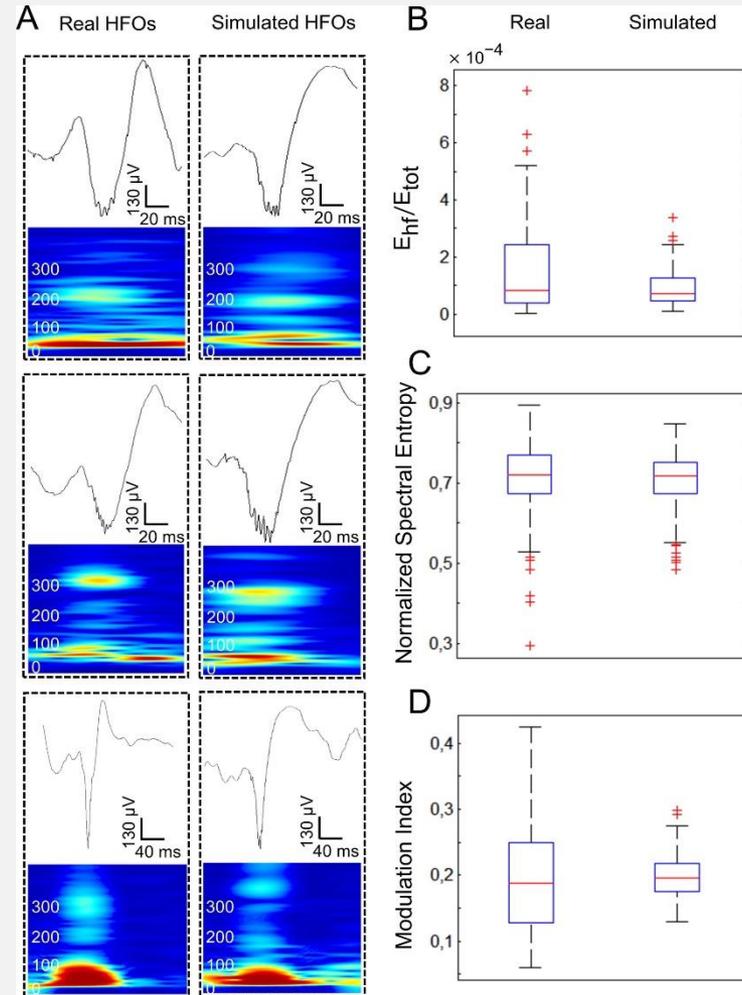
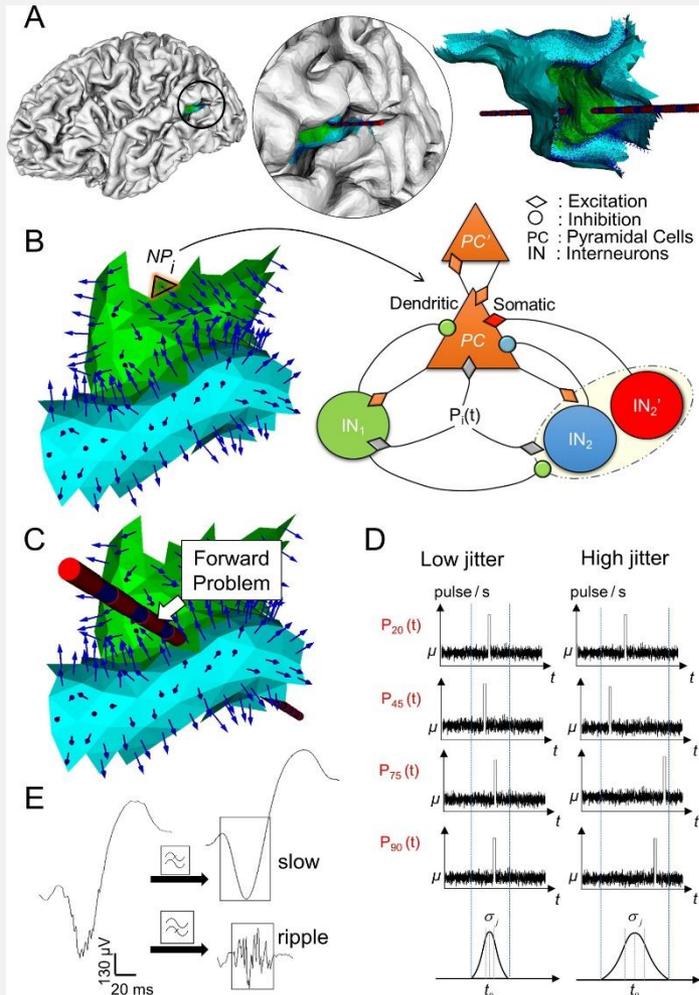


Quelques exemples : Origine des oscillations HF « Fast Ripple » en SEEG





Quelques exemples : Origine des oscillations HF « Fast Ripple » en SEEG



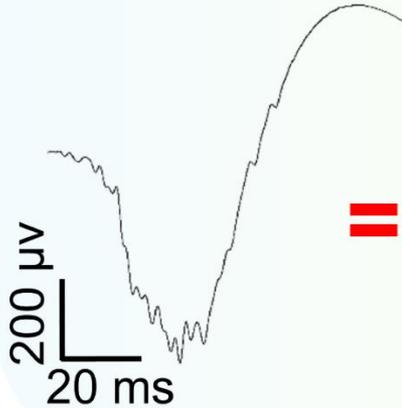


Quelques exemples : Origine des oscillations HF « Fast Ripple » en SEEG

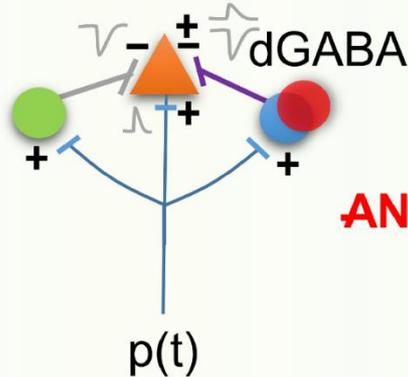
Fast ripple

Time-related

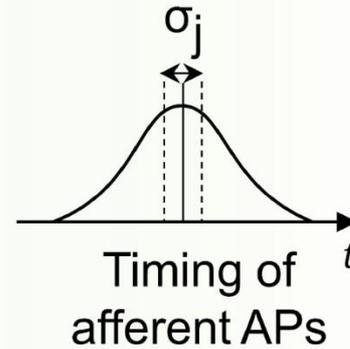
Space-related



=



AND



AND



(LTSI, Rennes)



Principaux enjeux

- Disposer de données pour la construction et la validation et le déploiement des modèles
- Disposer de méthodes permettant la manipulation, l'intégration et l'articulation de modèles
- Déployer les modèles et les insérer dans les pratiques



Des défis scientifiques et technologiques à relever

- Explorer toutes les sources d'information
- Nouvelles méthodes d'acquisition
- Qualité des données
- Structuration de données hétérogènes
- Accessibilité des entrepôts



Des défis scientifiques et technologiques à relever

- Mettre au point des modèles intégratifs évolutifs ainsi que des modèles de substitution
- Stratégies d'intégration de modèles dont les échelles et les formalismes sont différents
- Personnalisation des modèles et caractérisation des effets de données manquantes
- Méthodes d'identification et de simulation



Quelques pistes

- Poursuivre les efforts de structuration récemment initiés autour des données de santé et de recherche en santé
- Favoriser les investissements en R&D autour de la modélisation
- Consolider les équipes et encourager les recherches aux interfaces
- Innovation dans les parcours de formation