



HAL
open science

Superposition de couches de fibres et propagations anormales : une étude numérique

Simon Labarthe, Yves Coudière, Jacques Henry

► **To cite this version:**

Simon Labarthe, Yves Coudière, Jacques Henry. Superposition de couches de fibres et propagations anormales : une étude numérique. Printemps de la Cardiologie, Apr 2013, Marseille, France. hal-00926480

HAL Id: hal-00926480

<https://inria.hal.science/hal-00926480>

Submitted on 9 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Superposition de couches de fibres et propagations anormales : une étude numérique

SIMON LABARTHE, YVES COUDIÈRE, JACQUES HENRY
simon.labarthe@u-bordeaux2.fr, yves.coudiere@inria.fr, jacques.henry@inria.fr

MODÈLE MATHÉMATIQUE

Paramètres maîtrisés



Modèles mathématiques

Oreillette gauche (OG)
Veine Pulmonaire (VP)
(Monodomaine, Bidomaine)



Simulations numériques

- Non pathologiques
- Pathologiques

Monodomaine :

$$\alpha(C_m \partial_t V + I_{ion}(V)) + \underbrace{\text{div} D \nabla V}_{\text{couplage}} = \underbrace{I_{app}}_{\text{stim}}$$

Monodomaine bisurfacique :

$$\alpha(C_m \partial_t V_k + I_{ion}(V_k)) - \underbrace{\text{div} D \nabla V_k}_{\text{couplage}} + (-1)^k \sigma \frac{V_2 - V_1}{h^2} = \underbrace{I_{app}}_{\text{stim}}$$

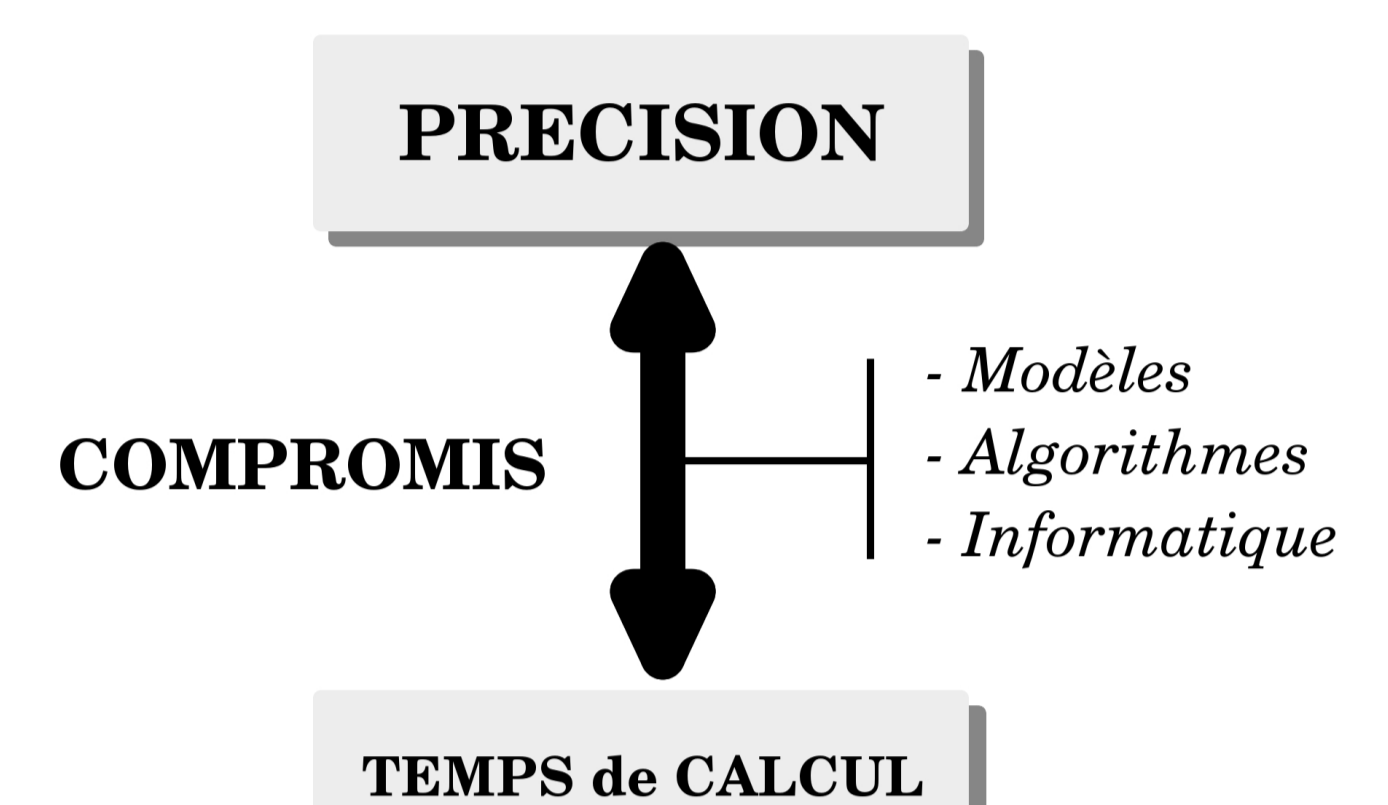
ENTRÉES DU MODÈLE

- Electrophysiologie : OG ≠ VP
- Couplage inter-cellulaire : anisotropie du tissu...
- Anatomie : IRM, fibres.
- Excitation/Stimulation : NS, trigger, électrode...

SORTIE DU MODÈLE

- Bidomaine : V_m, Φ_i, Φ_e .
- Monodomaine : V_m uniquement (Φ_i et Φ_e accessibles après extrapolation).
- Post-processing médical :
EGM / ECG PA, $\partial V / \partial t_{max}$
Carte d'activation Courants ioniques
...

COMPROMIS



CONTEXTE

MODÈLE BISURFACIQUE: MOTIVATION

Physiologique :

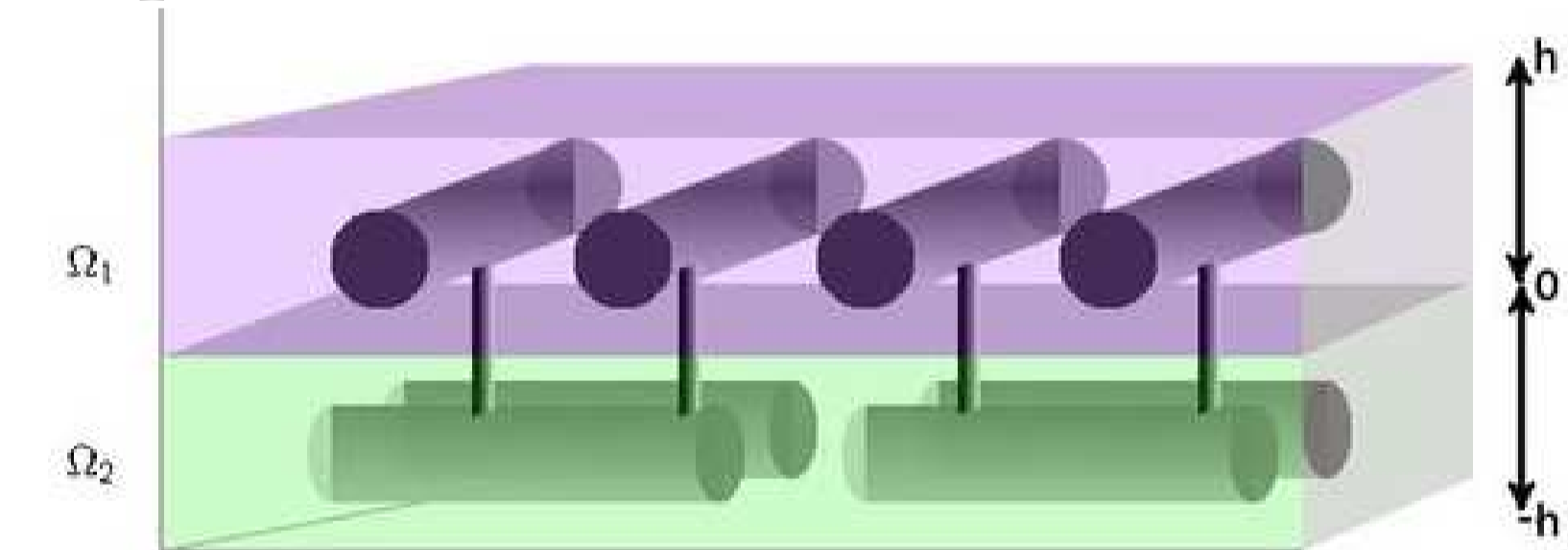
- tissu fin (LA, RA, PV) [1, 2].
- Hétérogénéités transmursales : couches de fibres ⇒ propagation complexe [3].

Mathématique :

- Capture d'hétérogénéités transmursales: simulations 2D enrichies.
- Gains de temps de calcul.

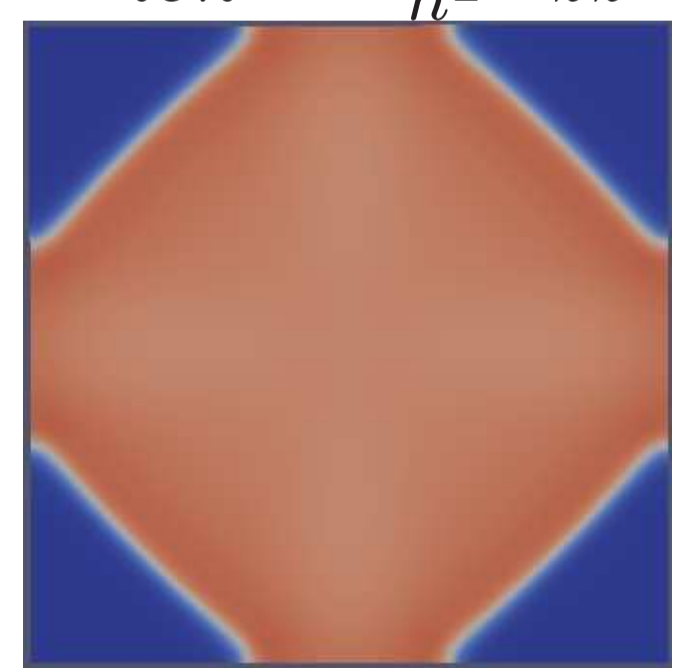
PHÉNOMÈNE PHYSIQUE

Tissu fin: "activité ionique" ⇔ "balance diffusion transverse" :



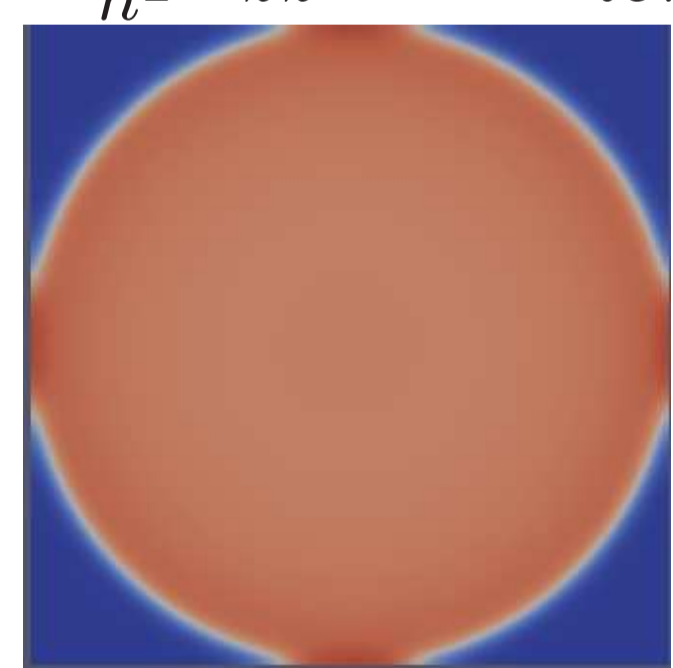
$$\alpha(C_m \partial_t V + \underbrace{I_{ion}(V)}_{\text{Act. ion.}}) - \text{div} \sigma \nabla V - \underbrace{\frac{\sigma_3}{h^2} \partial_{zz} V}_{\text{Diff. trans.}} = 0$$

Si $I_{ion} \gg \frac{\sigma_3}{h^2} \partial_{zz} V$



Dépolarisation Anisotropie

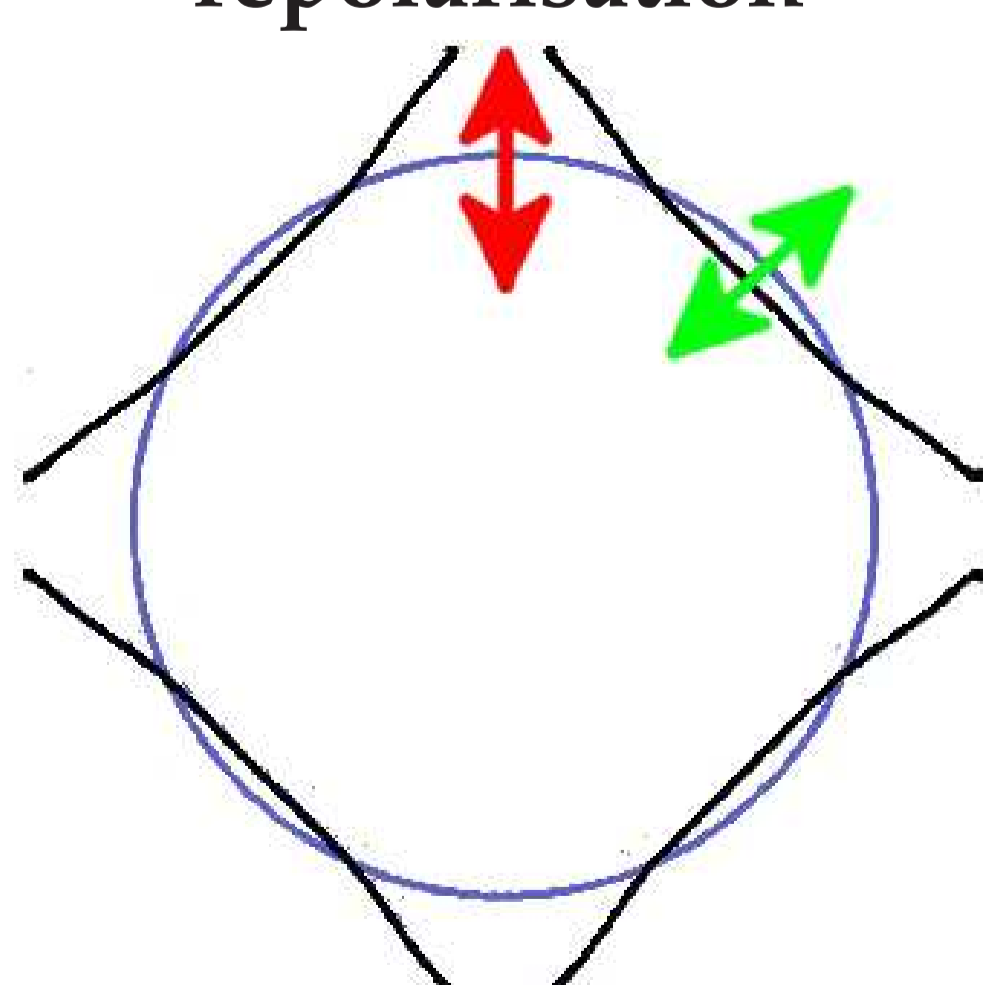
Si $\frac{\sigma_3}{h^2} \partial_{zz} V \gg I_{ion}$



Repolarisation Isotropie, moyenne

GRADIENT D'APD

Dynamique différente de dépolarisation et repolarisation



Courbe noire : front de dépolarisation.
Courbe bleue : front de repolarisation.

Flèche rouge : Dilatation de l'APD.

Flèche verte : Retracting de l'APD.

MÉTHODE

PARAMÈTRES

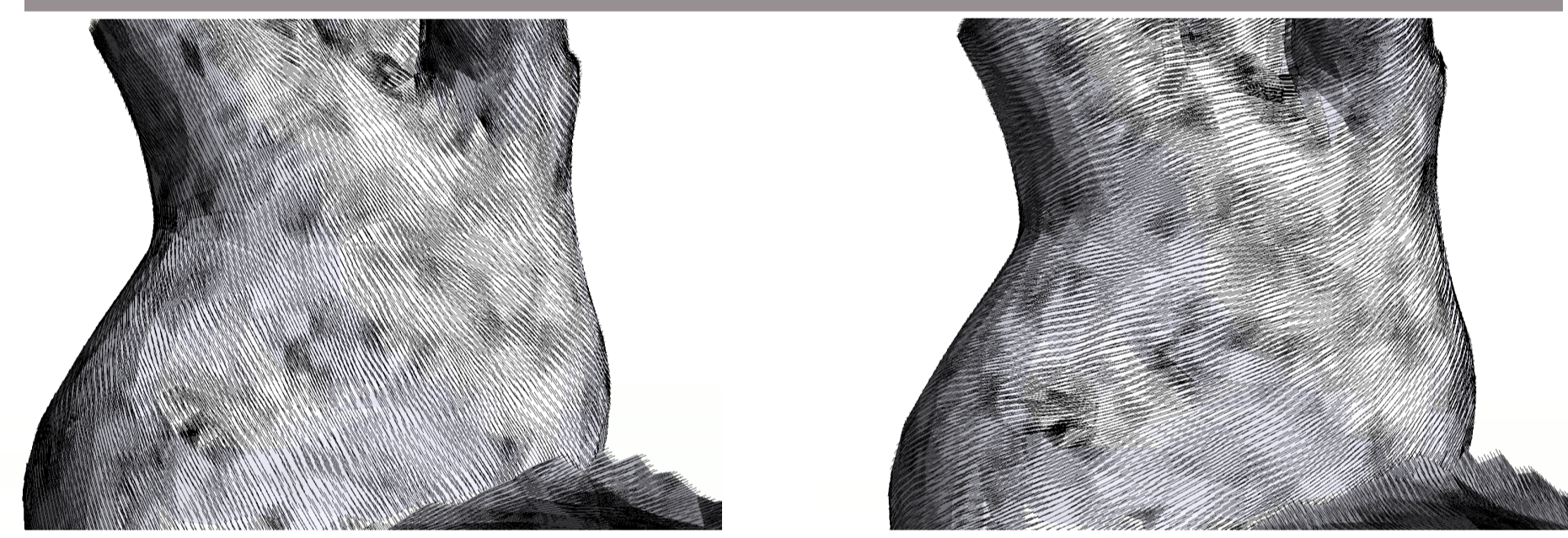
Modèle bisurfacique

- Anatomie : géométrie de PV.
- Physiologie : CRN modifié, forte anisotropie.
- Fibres : 2 couches de fibres perpendiculaires.
- Stimulation : S1-S2 (155.2 ms).

Modèle témoin

- Même paramètres, mais fibres identiques sur les 2 couches.

GÉOMÉTRIE



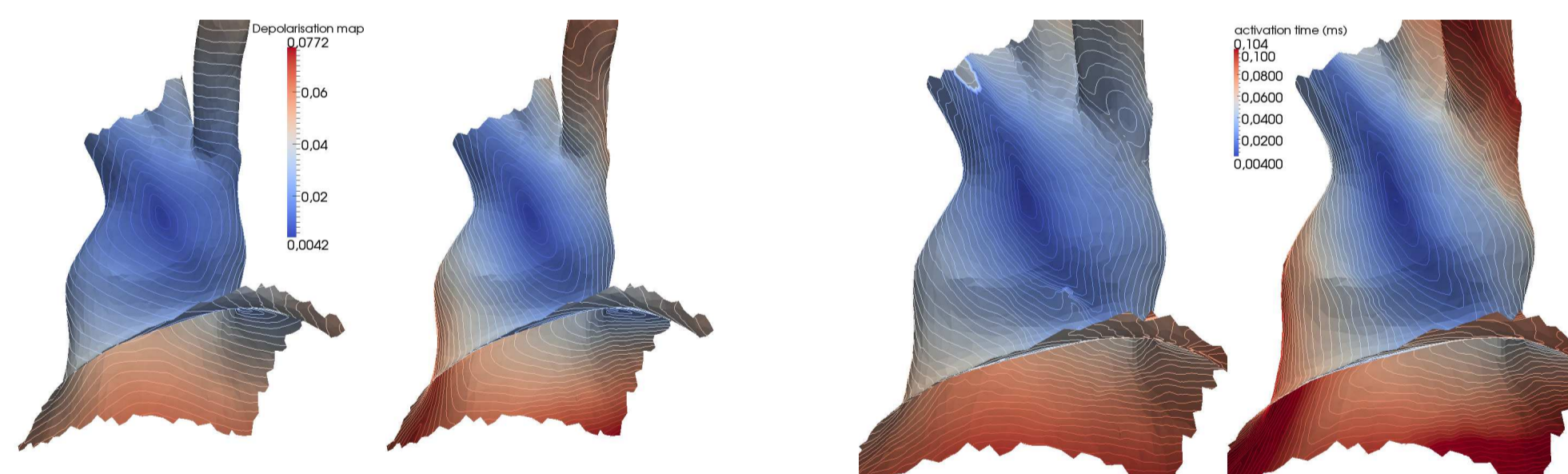
Couche 1

Couche 2

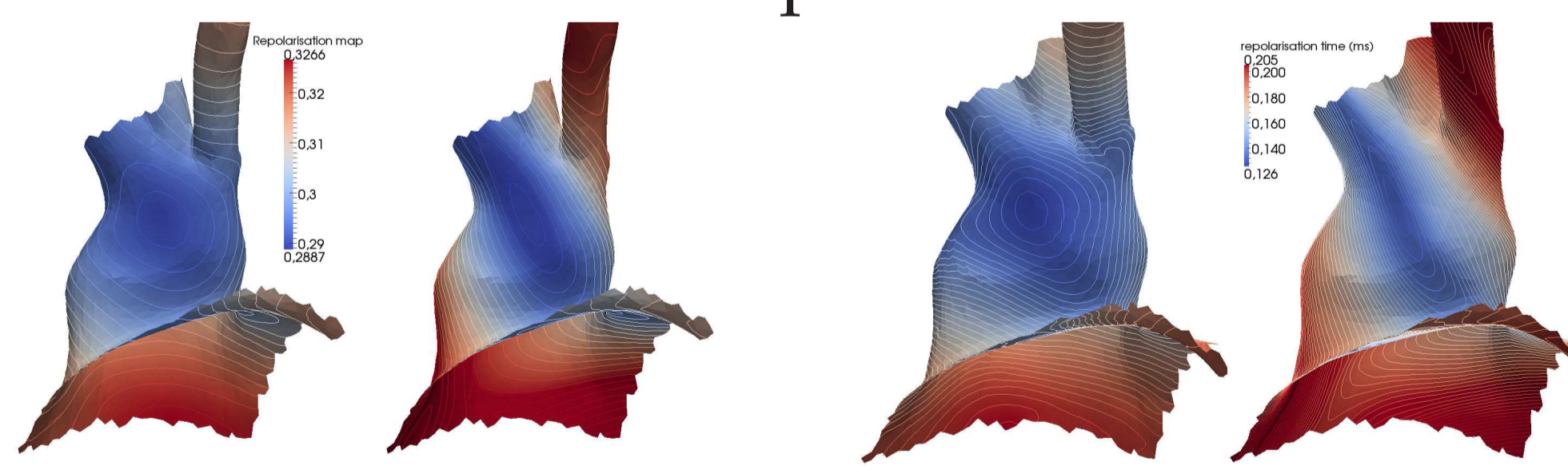
RÉSULTATS : GRADIENT D'APD

Anisotropie : 10

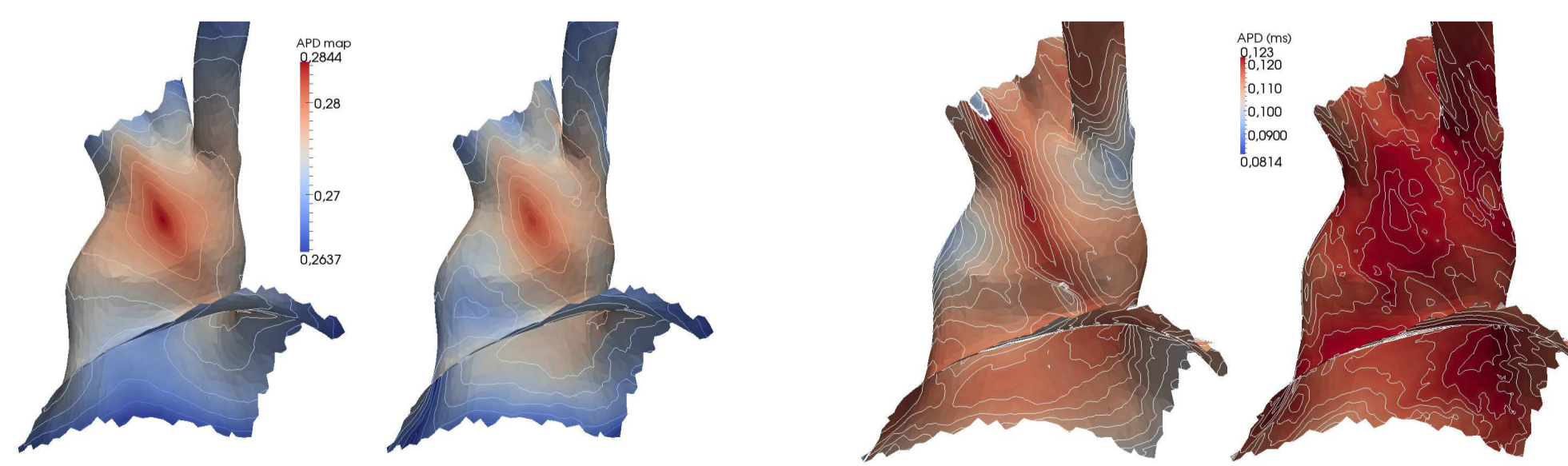
Carte d'activation



Carte de repolarisation



Carte d'APD

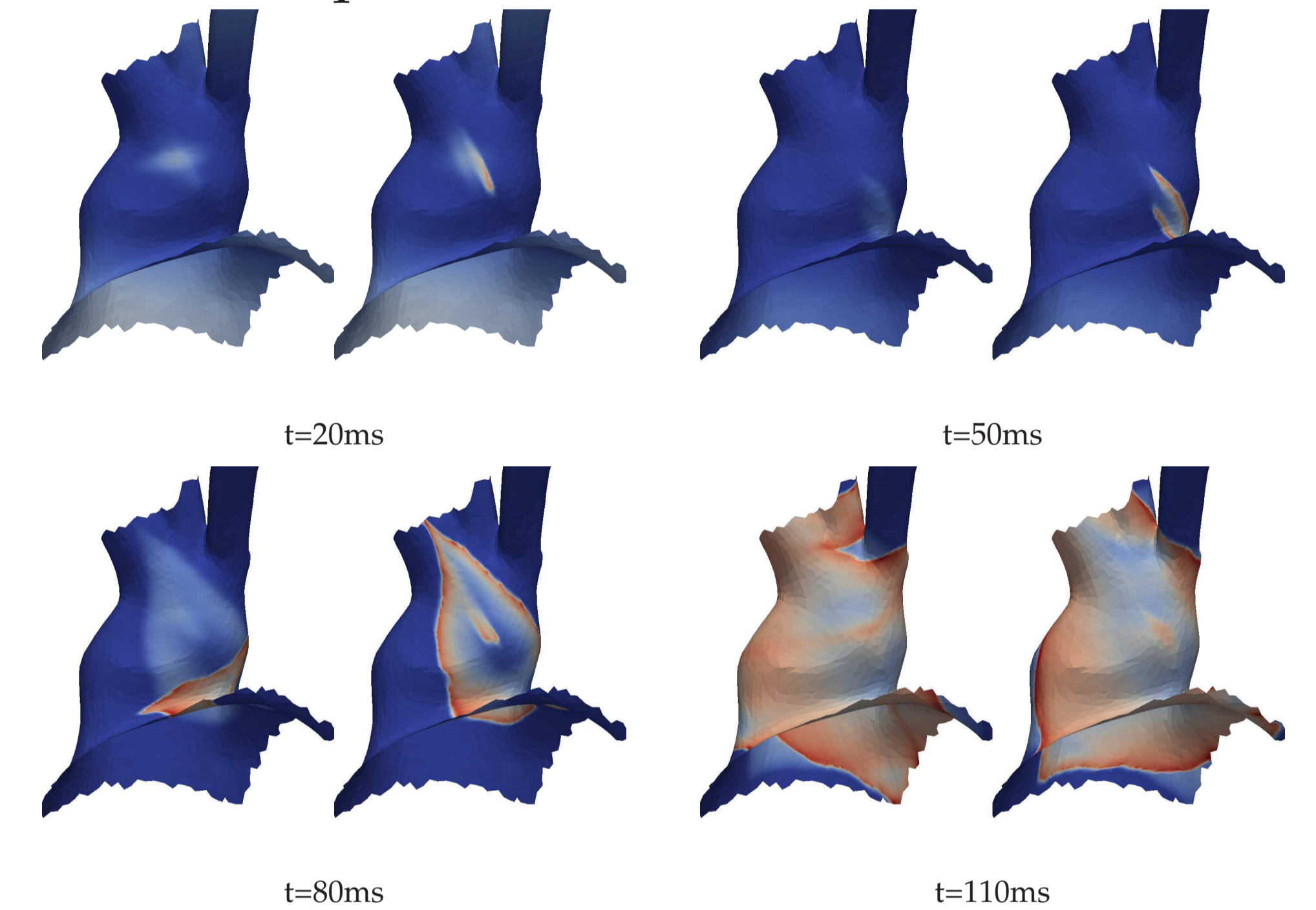


Bisurfacique / Témoin Bisurfacique / Témoin

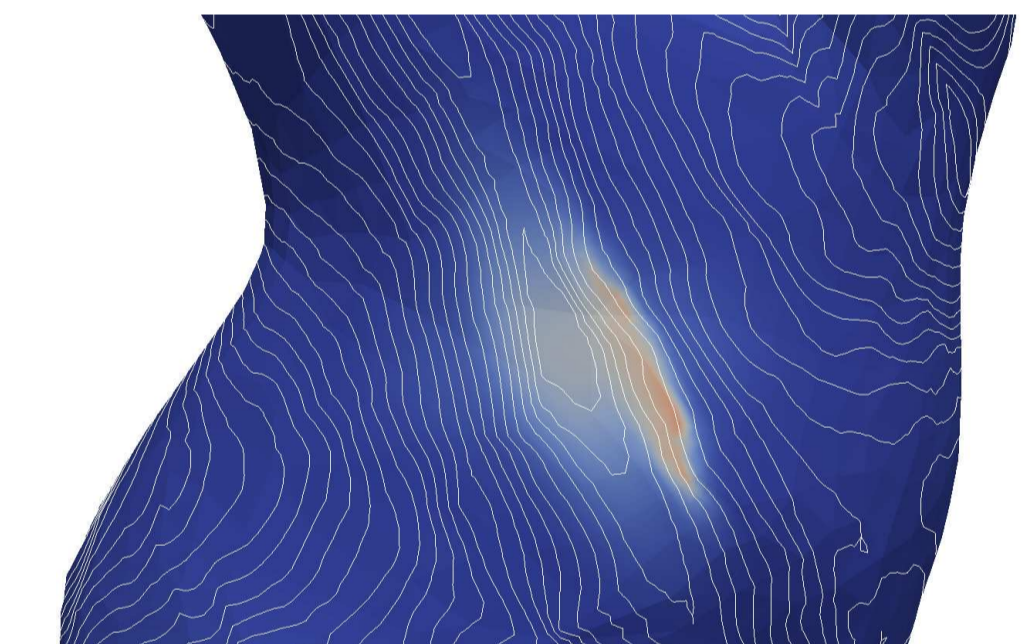
- Dépolarisation comparable.
- Repolarisation plus isotrope dans le double couche.
- APD.
 - Anisotropie : 10. Double couche : déformation des isochrones.
 - Anisotropie : 70. Double couche : répartition structurée. Témoin : très faibles variations (courbure)

RÉSULTATS : RÉENTRÉE

Snapshots: couche 1 / couche 2



Superposition du snapshot à t=20ms et de la carte d'APD



- Dépolarisation dans la direction du gradient d'APD, puis direction diagonale et début de réentrée.

DISCUSSION - CONCLUSION

ANALYSE DES RÉSULTATS

Identification théorique et numérique

- Mécanisme arythmogène
- Condition d'apparition du mécanisme**
- Superposition de couches de fibres.
- Couches minces de tissu.
- Dynamique différente à la dépolarisation et à la repolarisation.

LIMITATIONS

- Couches de fibres perpendiculaires, très fort ratio d'anisotropie.
- Effet plus important en régime transitoire (après stimulation)
- Très faible fenêtre d'apparition du phénomène de réentrée (≈ 1 ms).
- Réentrée non stable

CONCLUSIONS

- Nécessité de modèle bisurfacique.
- Phénomène arythmogène.
- Perturbation du rythme sinusal.

RÉFÉRENCES

- [1] Siew Yen HO et al. Dans : *Cardiovascular Research* (2002).
- [2] Tsukasa SAITO et al. Dans : *Journal of cardio. electrophy.* (2000).
- [3] Frederick J. VETTER et al. Dans : *Circulation Research* (2005).