

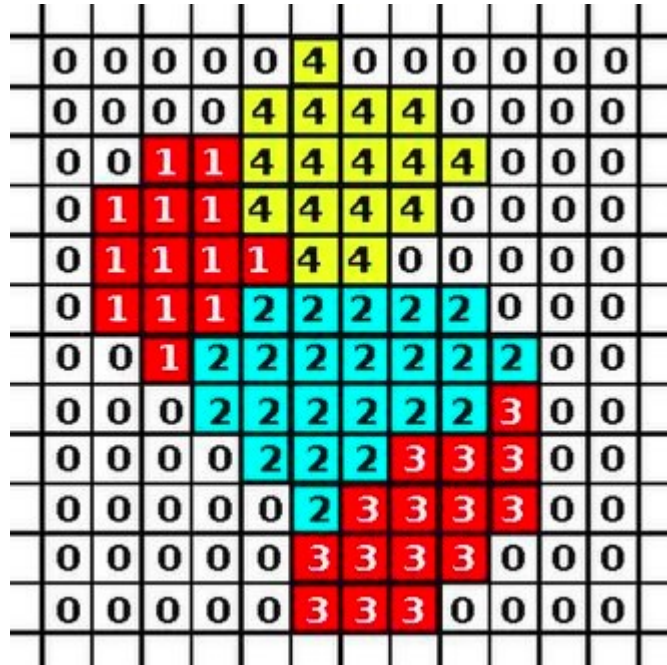
Modélisation dynamique de l'interface entre deux tissus cellulaires

Stage M2 SBCP
Djamal Chekroun
28 juin 2022

Objectifs du stage

- mettre au point un programme informatique modélisant en 2D l'interface entre deux tissus cellulaires actifs, soumis à l'agitation thermique et aux réarrangements entre cellules,
- simuler la division et l'apoptose des cellules,
- caractériser les spectres des interfaces (après avoir vérifié la décorrélation temporelle sur une longue période),
- caractériser la forme des interfaces et leurs spectres par rapport à un modèle théorique,

Modèle Cellulaire de Potts



Grille de cellules

A chaque pas de temps, exécution d'un Monte Carlo Sweep

2	3	4
2	1	1
6	1	5

Modification 1=> 4 si energie plus basse ou avec la probabilité $\exp(-\Delta E/T)$

Modélisation de l'énergie

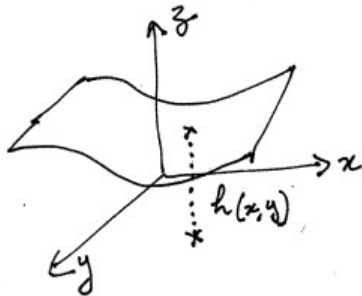
Cellules biologiques actives en 2D :

$$H = \sum_{cells < i, j >} \gamma_{ij} \mathcal{L}_{ij} + \frac{B}{2A_0} \sum_{cells i} (A_i - A_i^0)^2$$

Modèle cellulaire de Potts :

$$H = \sum_{sites < k, l >} J(\sigma_k, \sigma_l)(1 - \delta_{\sigma_k, \sigma_l}) + \lambda \sum_{cells i} \frac{(A_i - A_i^0)^2}{A_i^0}$$

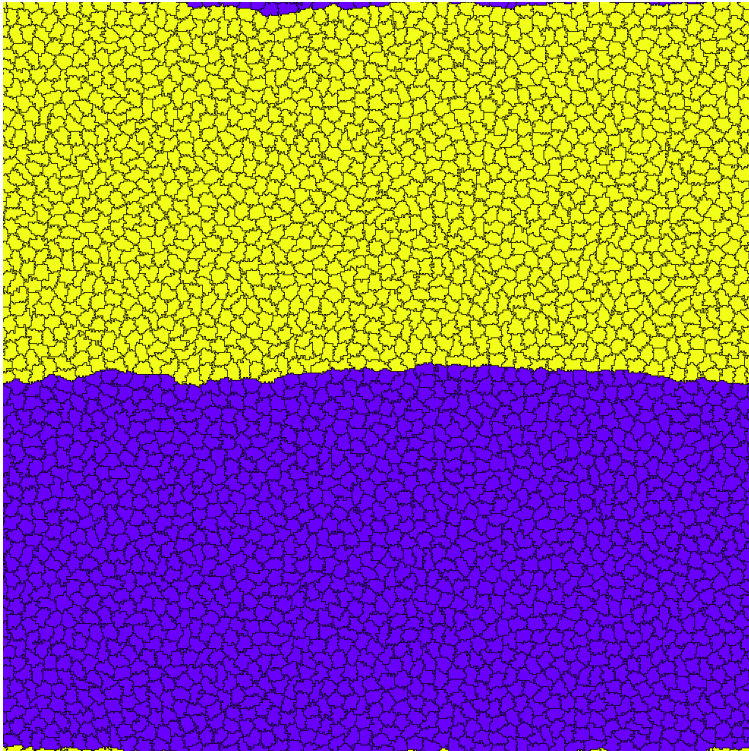
Analogie avec le spectre d'une membrane :



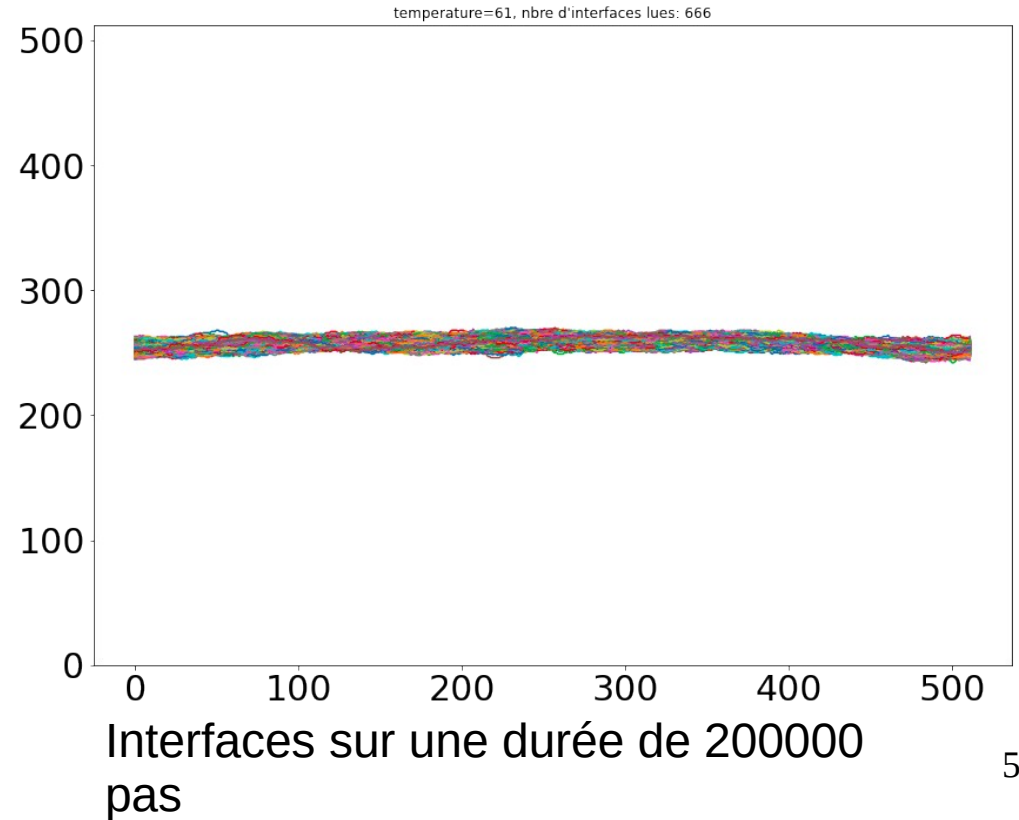
Amplitude des modes :

$$\langle |\tilde{h}(\vec{k})|^2 \rangle = \frac{k_b T}{\sigma k^2 + \kappa_b k^4}$$

Interface avec agitation thermique



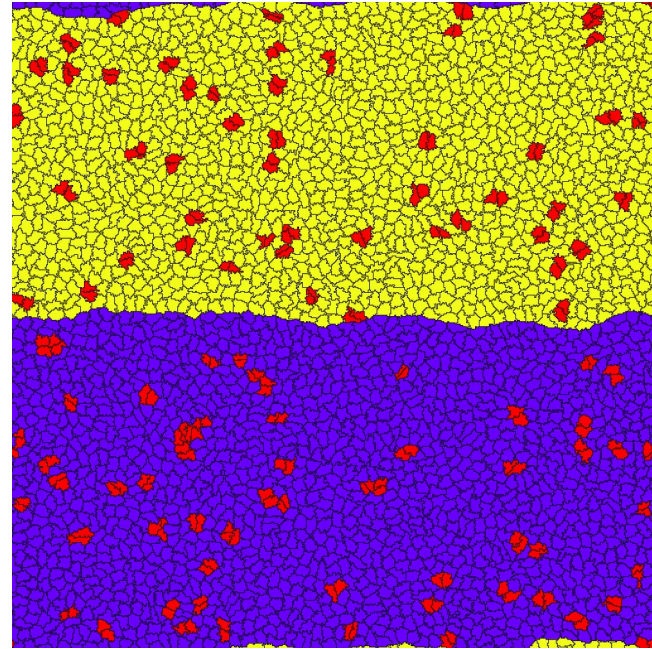
Grille 512x512



Modélisation de la division cellulaire



Division cellulaire et contrôle de la connexité



Affichage des cellules divisées

X % des cellules de surface > (3/4) surface cible divisent à chaque pas

Modélisation de l'apoptose

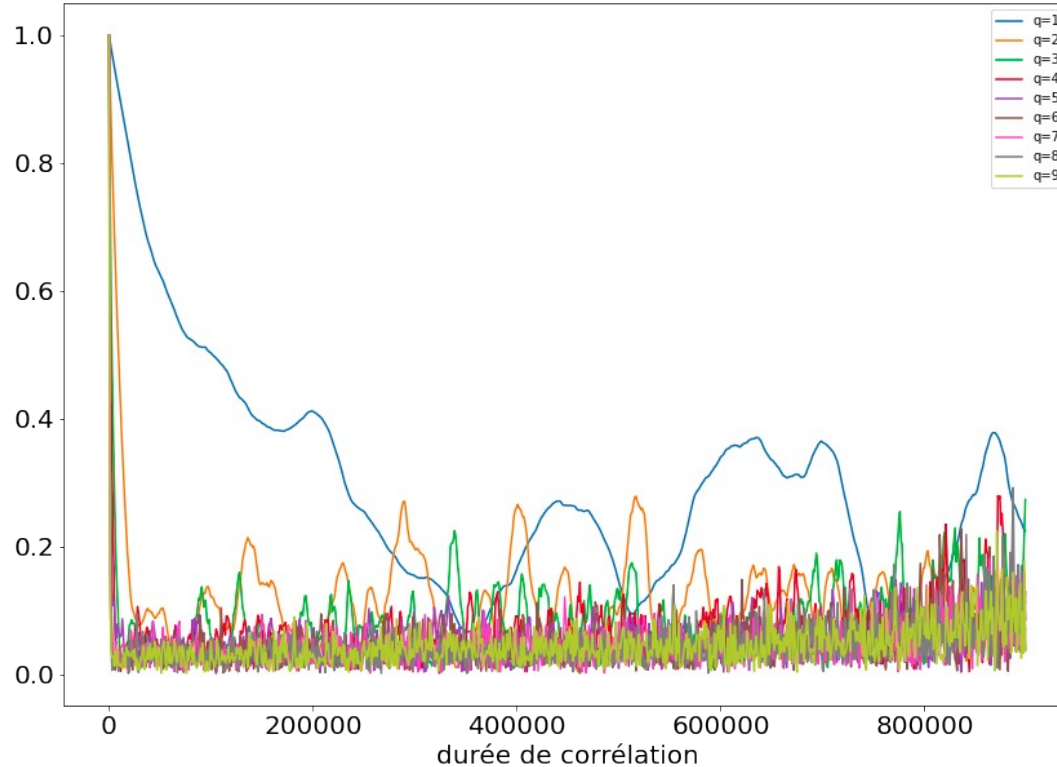
L'apoptose est déclenchée lorsque les cellules sont trop compressées (il s'agit en fait d'une extrusion en 3 dimensions).

Elle est déclenchée dans la modélisation lorsque la surface moyenne pour un type de cellules est plus faible d'un certain seuil que la surface cible.

Et alors un pourcentage équivalent des cellules sont détruites.

Si surface moyenne < surface cible (1-y%) alors y % des cellules sont condamnées à chaque pas

Corrélations temporelles des spectres

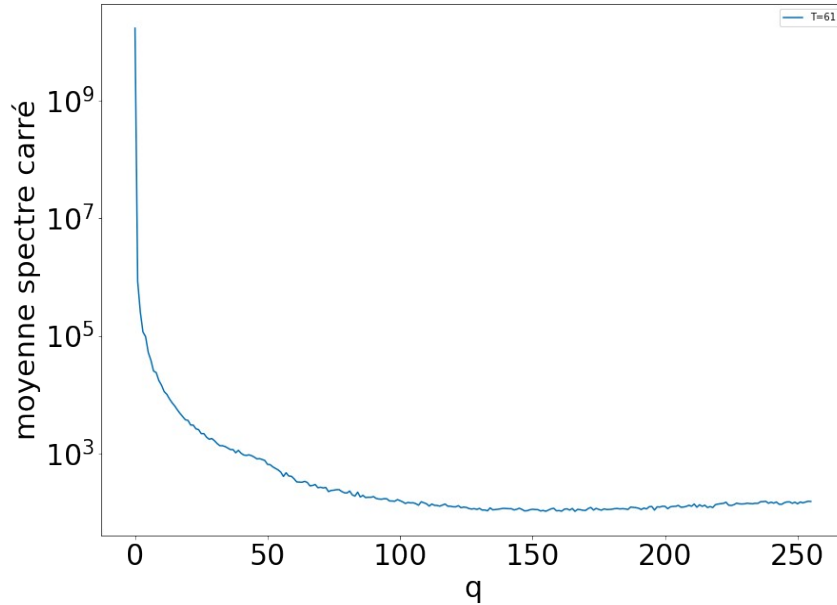


On calcule :

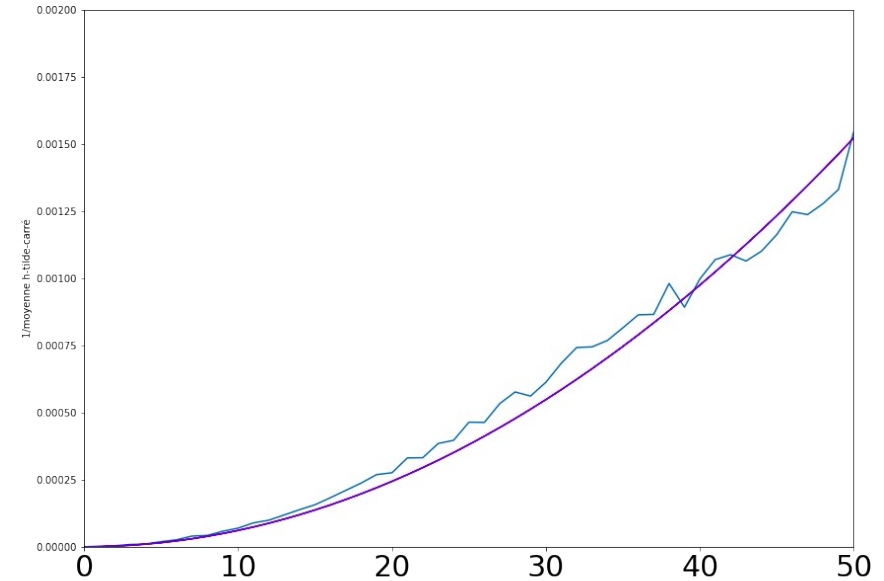
$$\left| \langle \tilde{h}(q, t) \tilde{h}^*(q, t + \tau) \rangle_t \right|$$

On n'atteint pas l'homéostasie avec les mécanismes de division/apoptose retenus

Spectres avec agitation thermique



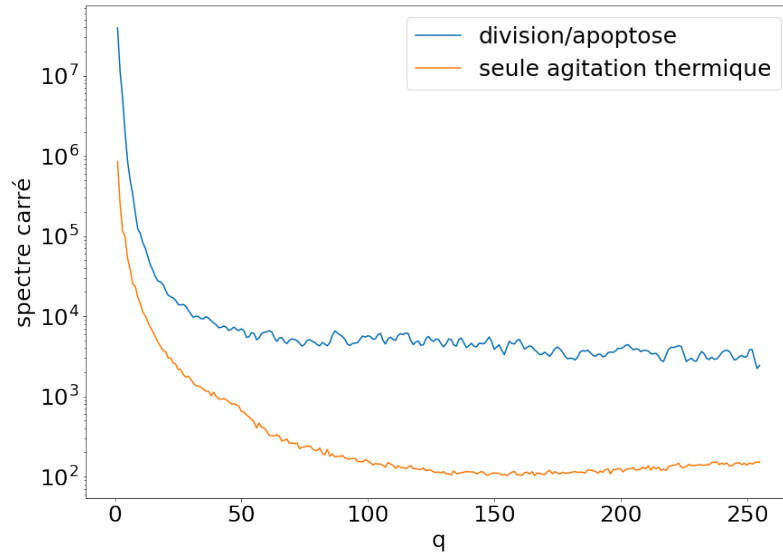
Modes principaux aux longueurs
d'onde $<$ taille cellule



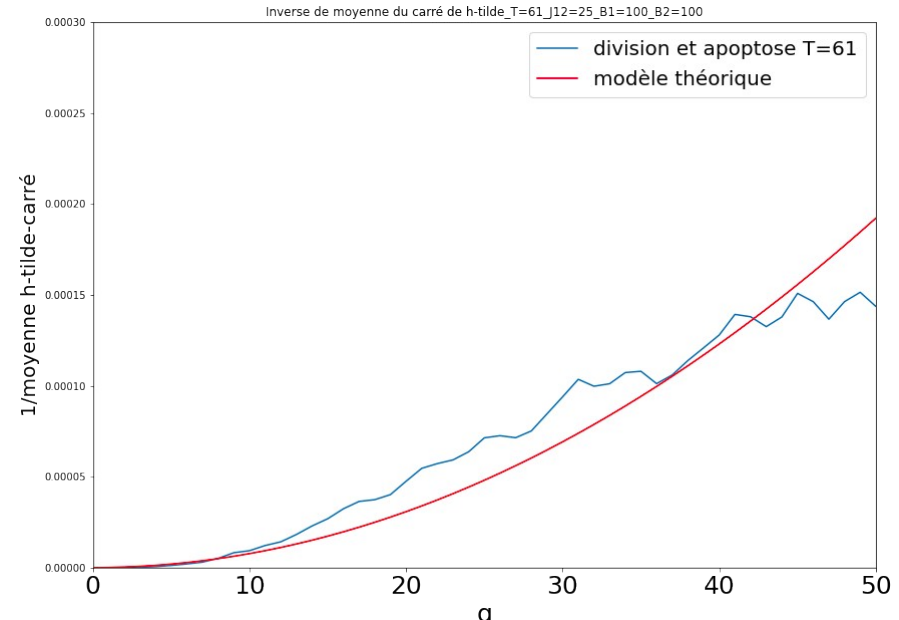
$$\langle |\tilde{h}_q|^2 \rangle = \frac{1}{bq^2 + cq^4}$$

On représente : $\frac{1}{\langle |\tilde{h}_q|^2 \rangle}$

Spectres avec division/apoptose



Spectres avec/sans division/apoptose

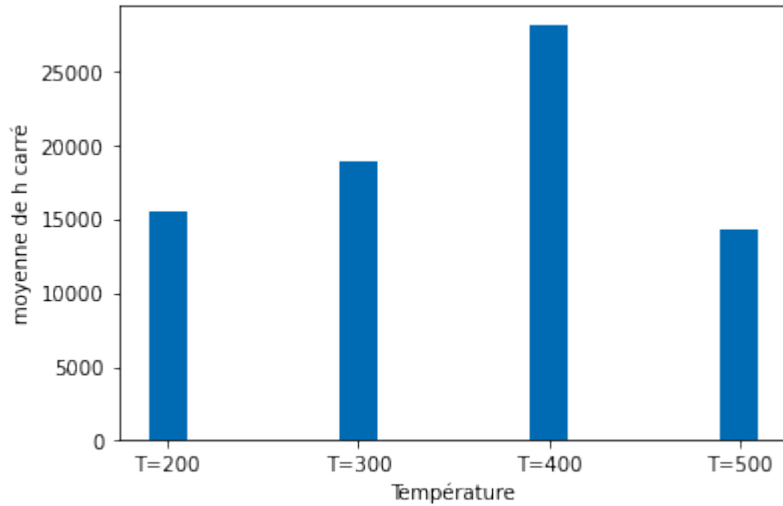


$$\langle |\tilde{h}_q|^2 \rangle = \frac{1}{bq^2 + cq^4}$$

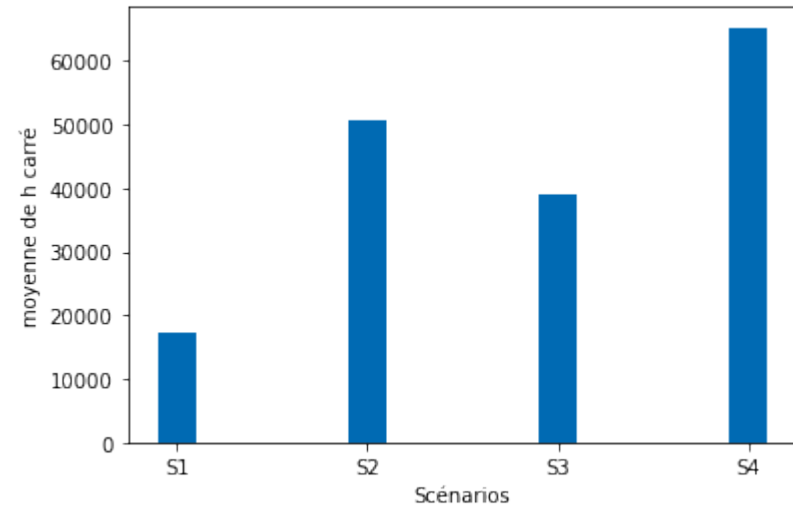
On représente : $\frac{1}{\langle |\tilde{h}_q|^2 \rangle}$

Température effective

On calcule la rugosité $\langle h^2 \rangle_t$ avec $h^2 = \sum_{i=0}^N h_i^2$, h_i hauteur centrée



Agitation thermique



Division cellulaire/apoptose

=> température effective S1 = 300

Conclusions

Le programme modélisant l'interface entre deux tissus cellulaires actifs avec agitation thermique, division cellulaire, apoptose est opérationnel de même que le script en Python faisant l'analyse des interfaces et de leur spectre.

On a montré que l'évolution avec division et apoptose est plus dynamique qu'avec la seule agitation thermique, l'intensité des fluctuations étant supérieure à tous les modes.

L'adéquation est bonne avec le modèle théorique, avec un module de flexion négligeable dans tous les cas.

Avec les mécanismes de division/apoptose implémentés, l'homéostasie n'est pas complètement atteinte après une longue durée.

On peut faire correspondre à une configuration division/apoptose une agitation thermique au travers d'une température effective

Architecture logicielle

Programme C :

- à partir d'un programme existant,
- exécute à chaque pas de temps un Monte Carlo Sweep
- produit le fichier des interfaces et les graphiques

Script Python :

- lit le fichier des interfaces
- calcule les spectres et les corrélations temporelles
- produit les graphiques

2 repos github :

- lecture commentée du code existant
- code écrit ou modifié