

# Modélisation de la prolifération des cellules musculaires lisses par la méthode des systèmes multi-agents

Maha Reda

Institut National de Recherche et de Sécurité - Département Ingénierie des Equipements de Travail

Université Bourgogne Franche-Comté - Département Mécanique Appliquée

Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr

[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

# Introduction

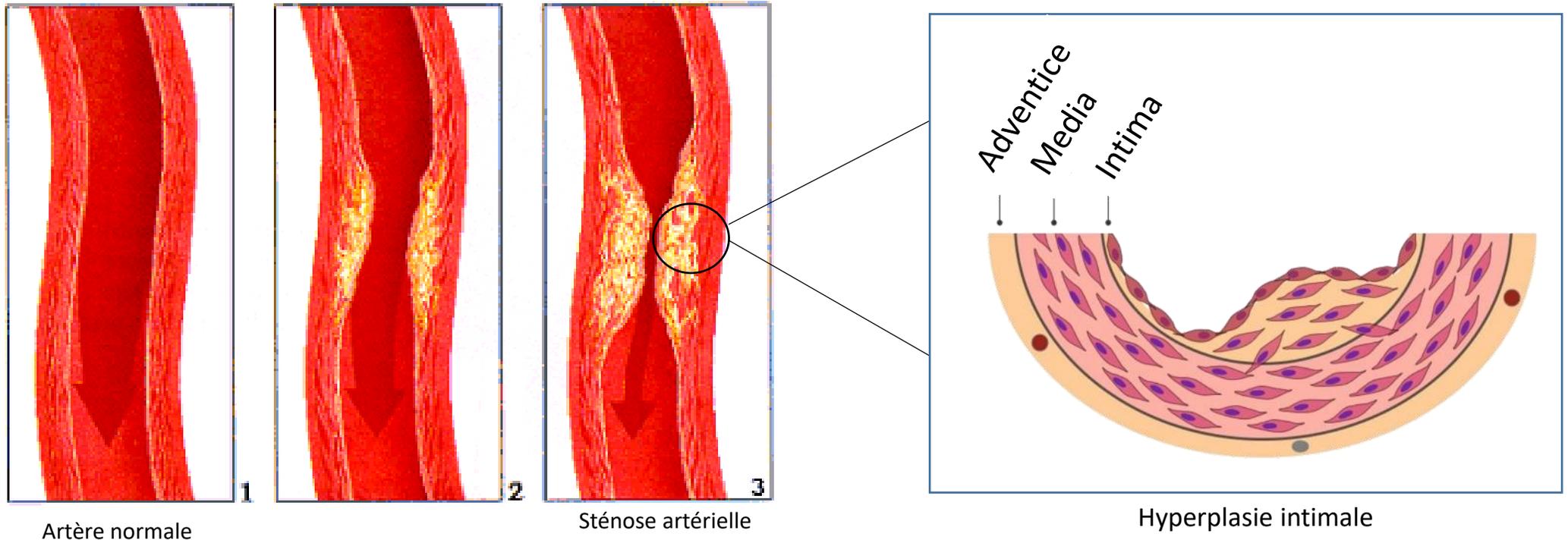
- **11%** des salariés sont exposés aux vibrations mains-bras – **200** maladies professionnelles reconnues - coût **8,5 M€**
- Les vibrations => modifications des champs de cisaillement (WSS), de contrainte ou de déformation au niveau de l'artère digitale.
- Ces modifications => un déséquilibre de la vasorégulation.



Apparition du **Syndrome de Raynaud d'origine vibratoire** après une exposition prolongée

# Introduction

- Le syndrome de Raynaud se manifeste par une sténose artérielle induite par une hyperplasie intimale



- Hyperplasie intimale : prolifération et migration des cellules musculaires lisses de la media vers l'intima → **Croissance et remodelage des parois artérielles**

# Objectif



WSS

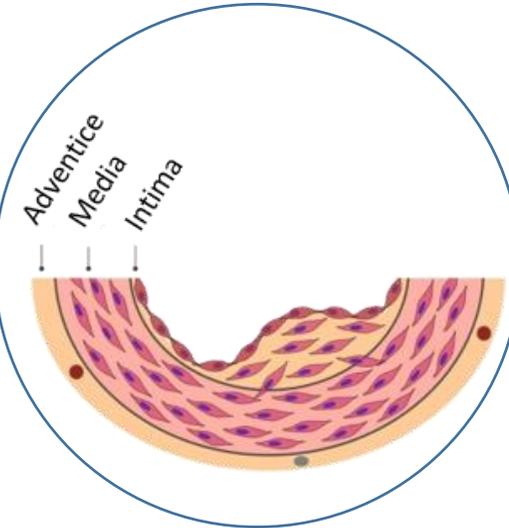


**Système Mutli-Agents**  
- Prolifération, migration,  
apoptose...

géométrie, anisotropie

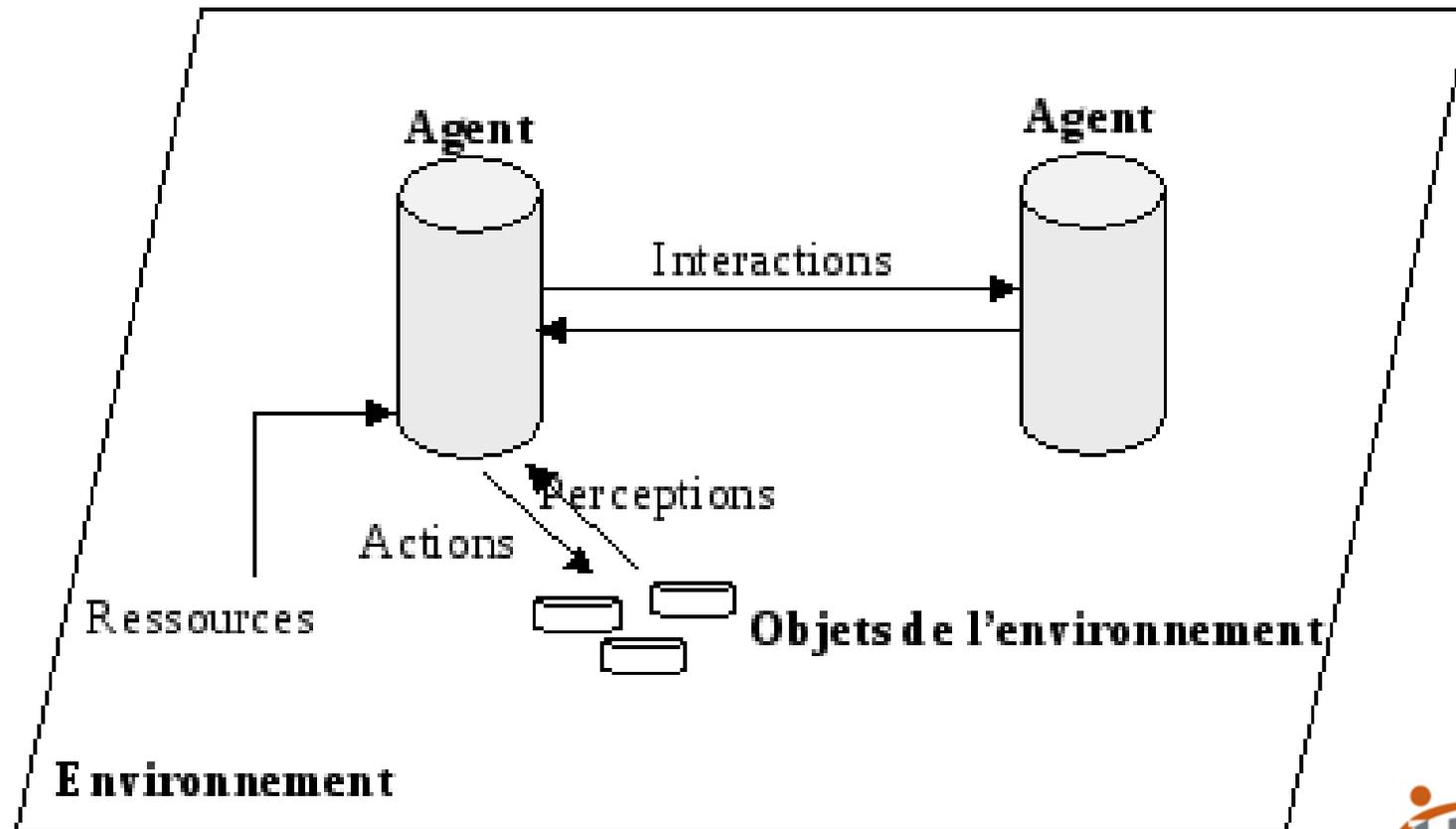
**Méthode  
Elément Finis**

contraintes, déformations



# Méthode (Système Multi-Agents)

- Ensemble des agents qui agissent et interagissent dans un environnement commun
- Modélisation des systèmes complexes, dont l'état final global résulte des interactions de l'ensemble des agents.



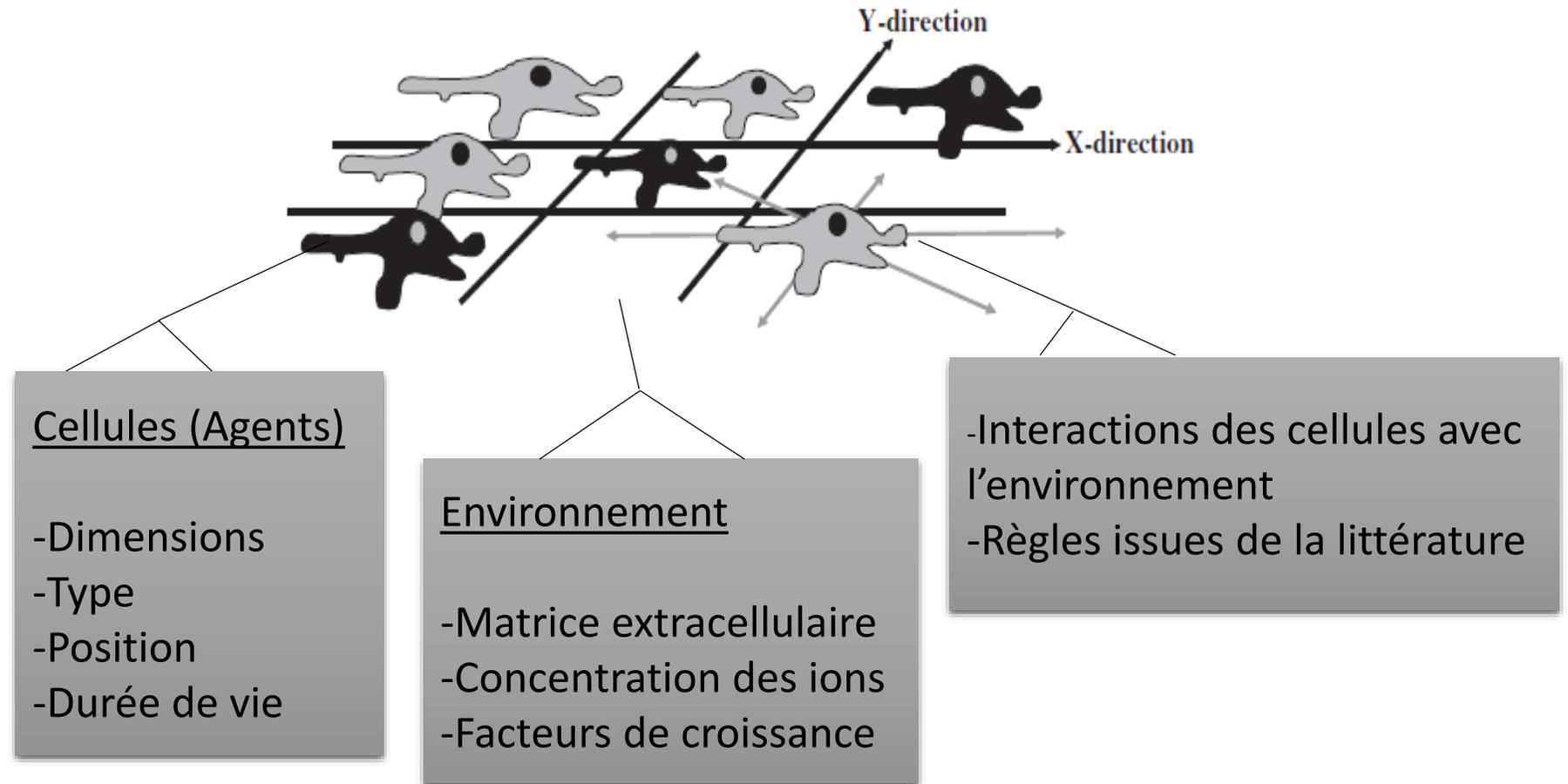
# Méthode (Système Multi-Agents)

- Un agent est une entité qui possède les propriétés suivantes :

Autonome	Agir seul sans une intervention de l'extérieure
Situé	Positionné dans son environnement
Social	Capable d'interagir avec les autres agents
Réceptif	Recevoir des entrées sensorielles de son environnement

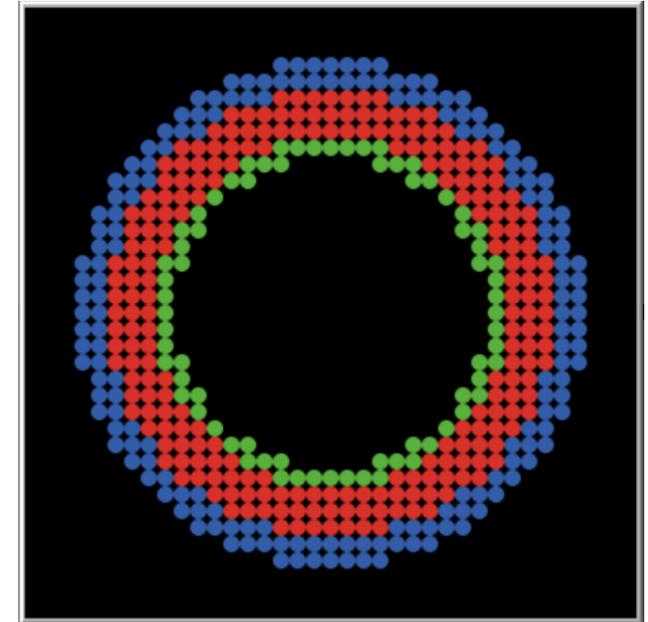
# Méthode (Système Multi-Agents)

- Exemple d'une méthode SMA d'un système biologique



# Systemes Multi-Agents : application à une artère

- Modélisation des 3 couches de l'artère sur NetLogo
  - **Intima** : cellules endothéliales (CE)
  - **Media** : cellules musculaires lisses (CML) + collagène
  - **Adventice** : fibroblastes + collagène
- La variation du champ de cisaillement au niveau de l'intima (CE), affecte la production des facteurs de croissance qui induisent la prolifération des CML.
- Les facteurs de croissance considérés : PDGF-AB, TGF.



PDGF-AB = Platelet-Derived Growth Factor  
TGF = Transforming Growth Factor

# Systemes Multi-Agents : application à une artère

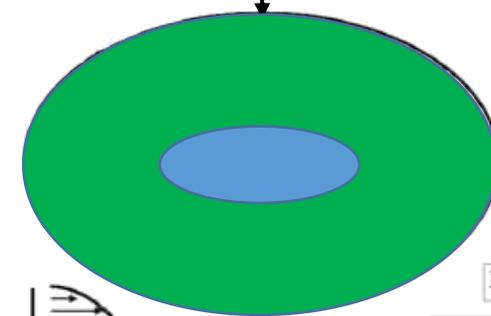
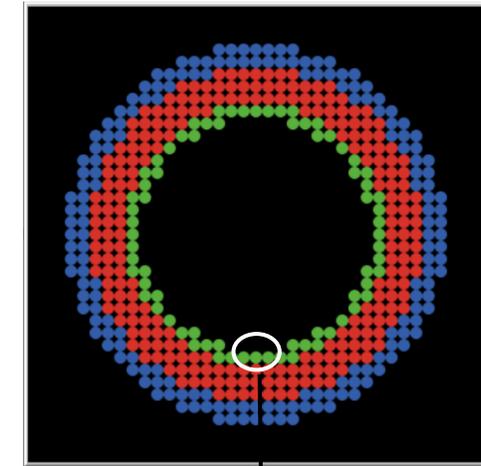
Effets du flux (  $WSS (\tau)$  )

production de  $PDGF-AB$  par les **Cellules endothéliales**

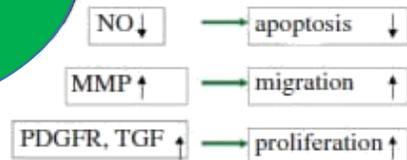
$$m(PDGF-AB) = M(\delta + \alpha(1 - e^{-k\tau^n})) \text{ pg/cell/h}$$

chance de prolifération des **Cellules musculaires lisses**

$$16,67 / (m(PDGF - AB) + b) / h$$

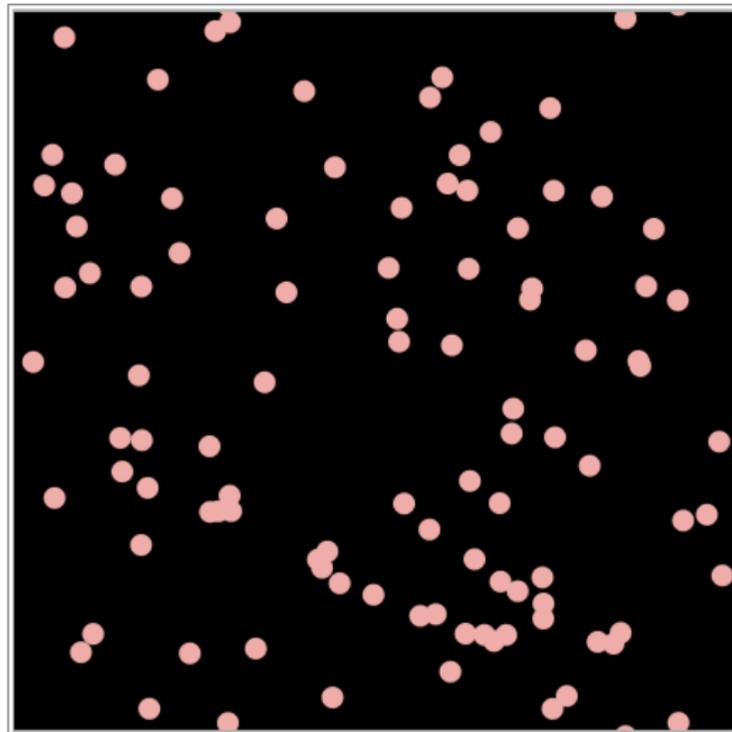


LSS

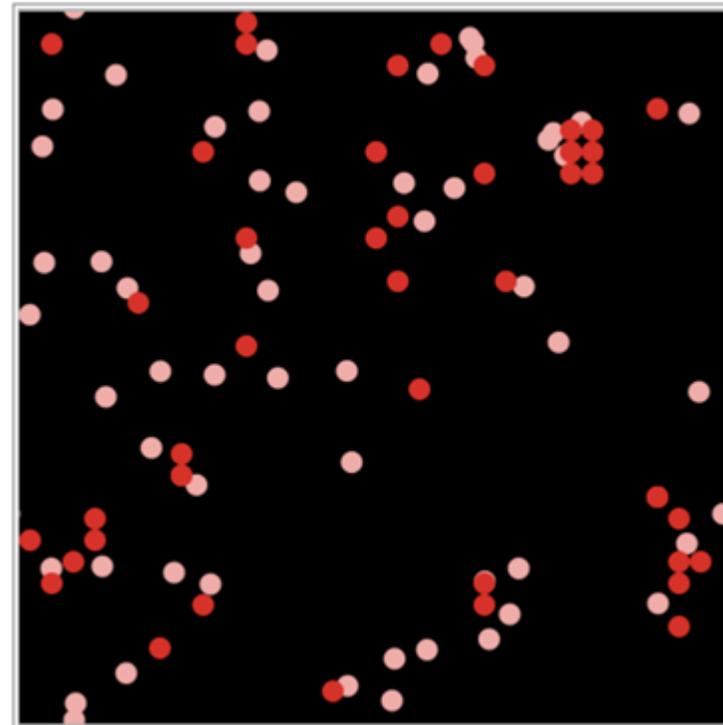


# Résultats

- Mise en œuvre d'un modèle de prolifération des Cellules Musculaires Lisses (CML)
- Etat physiologique : Chance de prolifération = 2.35 , apoptose = 2.35



100 CML à t=0



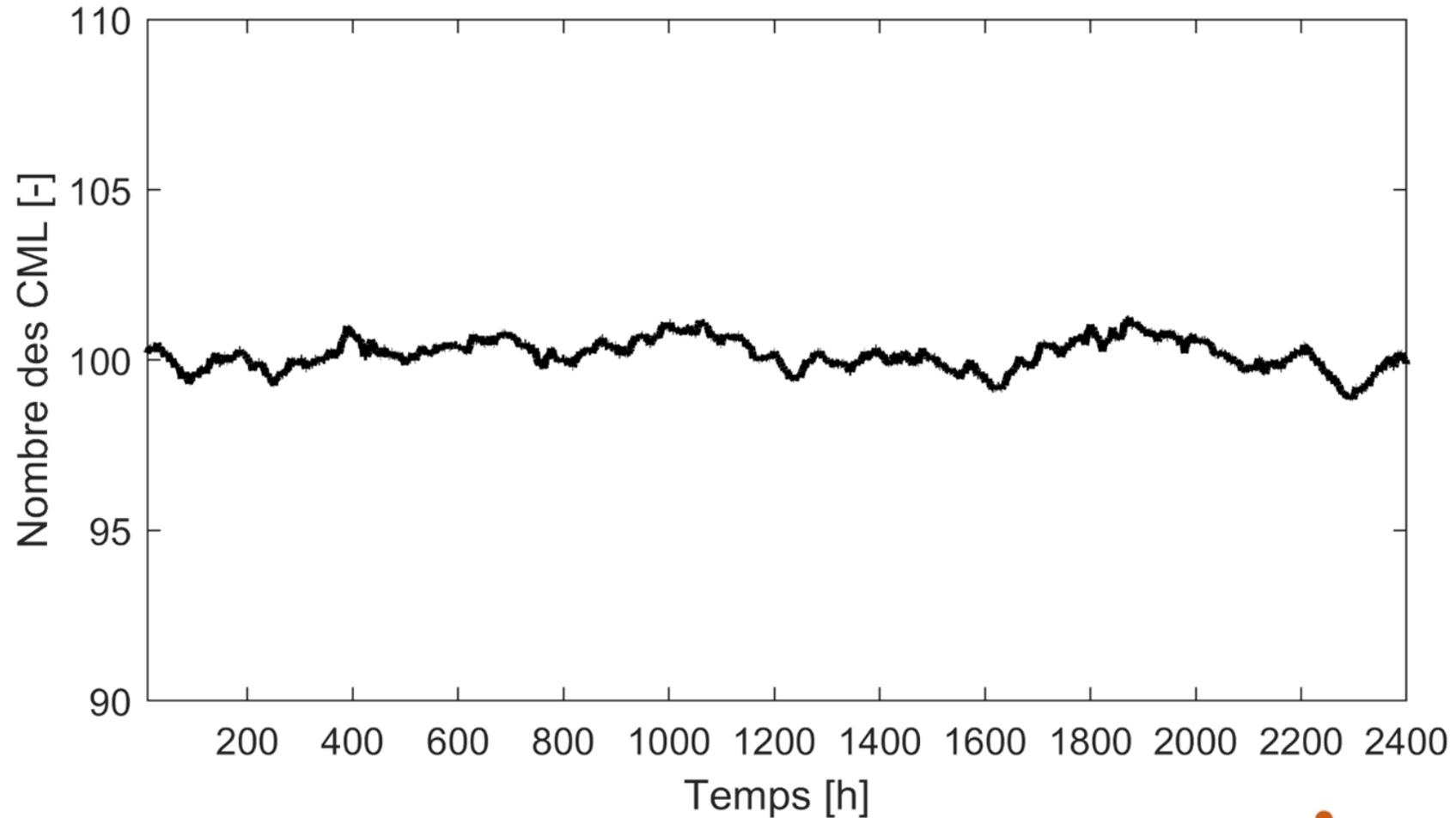
t = 100 jours

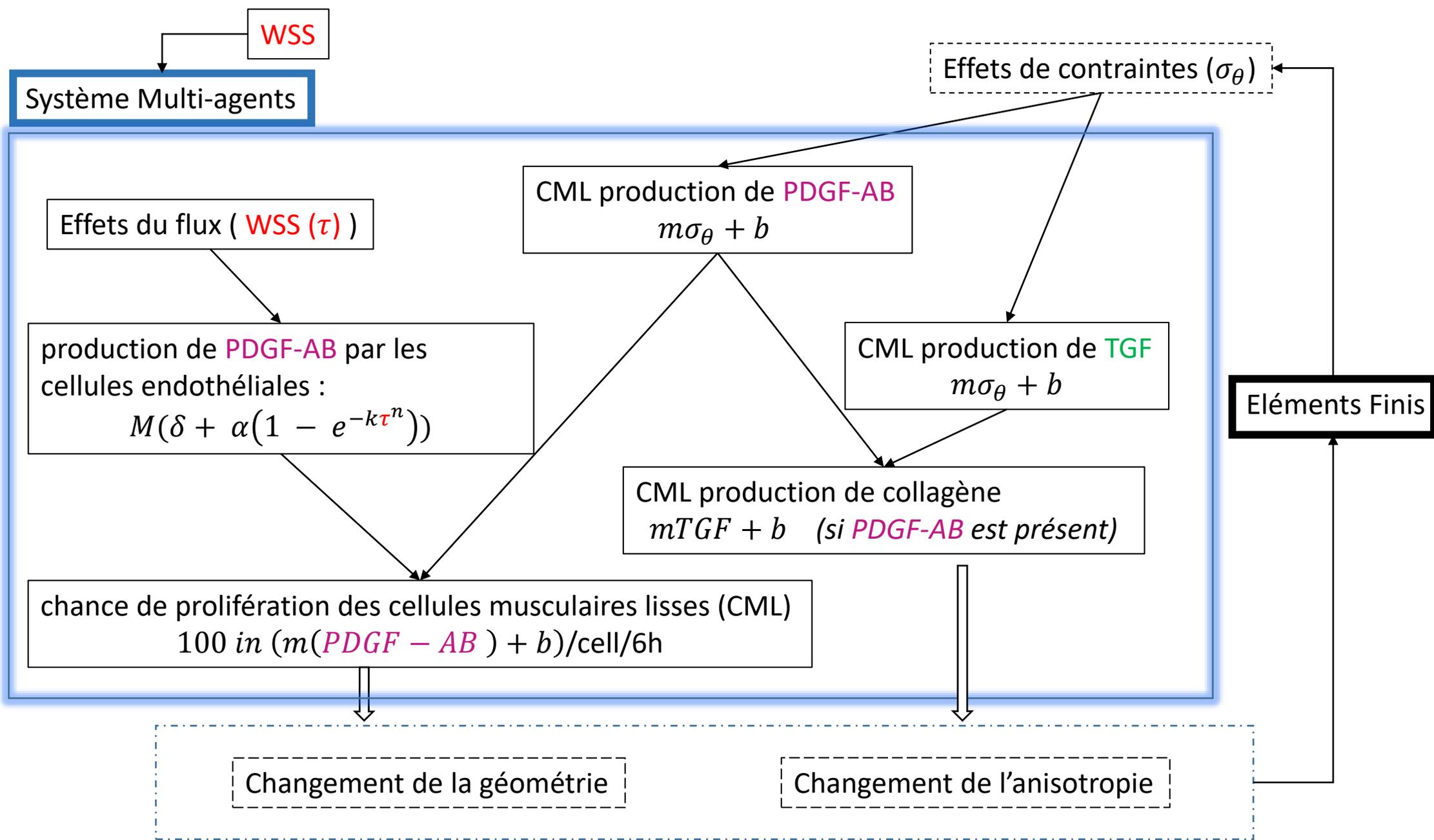
● = CML

● = CML proliférées

# Résultats

- Moyenne de 20 tests sur NetLogo





# Conclusion et Perspectives

- Mise en œuvre d'un modèle de prolifération de cellules en utilisant la méthode des systèmes multi-agents sur NetLogo.
- Validation du modèle dans l'état physiologique

## Perspectives

- Validation expérimentale du modèle de prolifération des cellules musculaires lisses (prolifération de co-culture cellulaire sous flux).
- Couplage des deux modèles Systèmes Multi-Agents et Éléments Finis.



Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

YouTube

