

Une approche inspirée de la finance mathématique pour étudier des fluctuations stochastiques intermittentes de viscosité dans les cellules vivantes

Soft Matter, Mai 2020

C. Bostoen & J-F. Berret

Rebecca Goulancourt



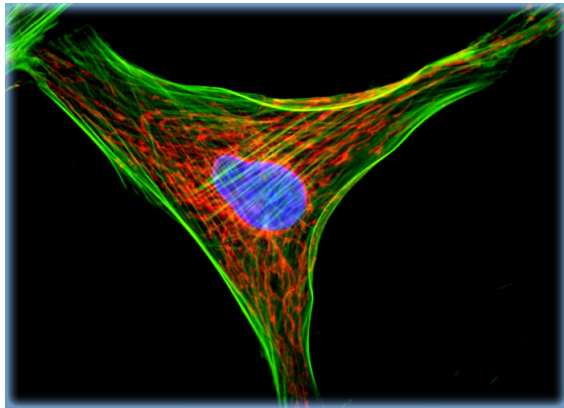
Université
de Paris

Historique et enjeux

Biomécanique cellulaire

Historique

- Étude récente, depuis 20 ans
- Précurseur : Francis Crick, **propriétés physiques** du cytoplasme



Enjeux

- Adhésion, différenciation, migration
- Migration et prolifération de cellules cancéreuses

→ Relation entre **propriétés biomécaniques et activité**

Qu'est-ce que la viscosité ?

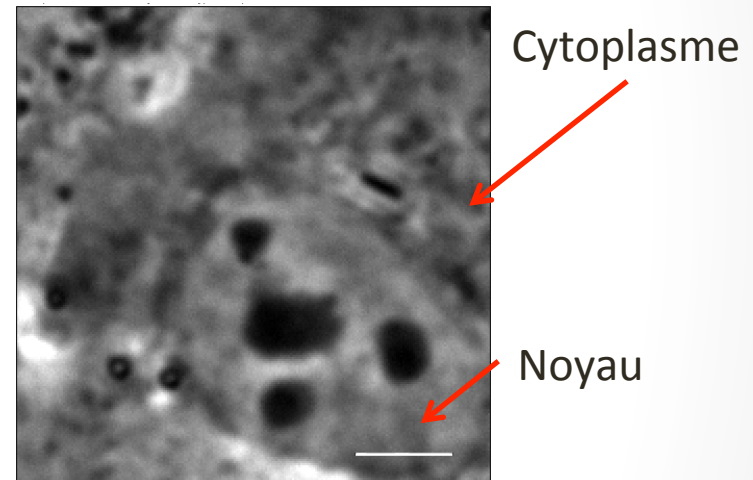
- Mesure de la **friction** entre deux couches de liquide en mouvement



Eau
 $\eta = 1.10^{-3} \text{ Pa s}$



Miel
 $\eta \sim 10 \text{ Pa s}$



Cellules fibroblastiques A549
Grossissement x60
 $10 \text{ Pa s} < \eta < 100 \text{ Pa s}$

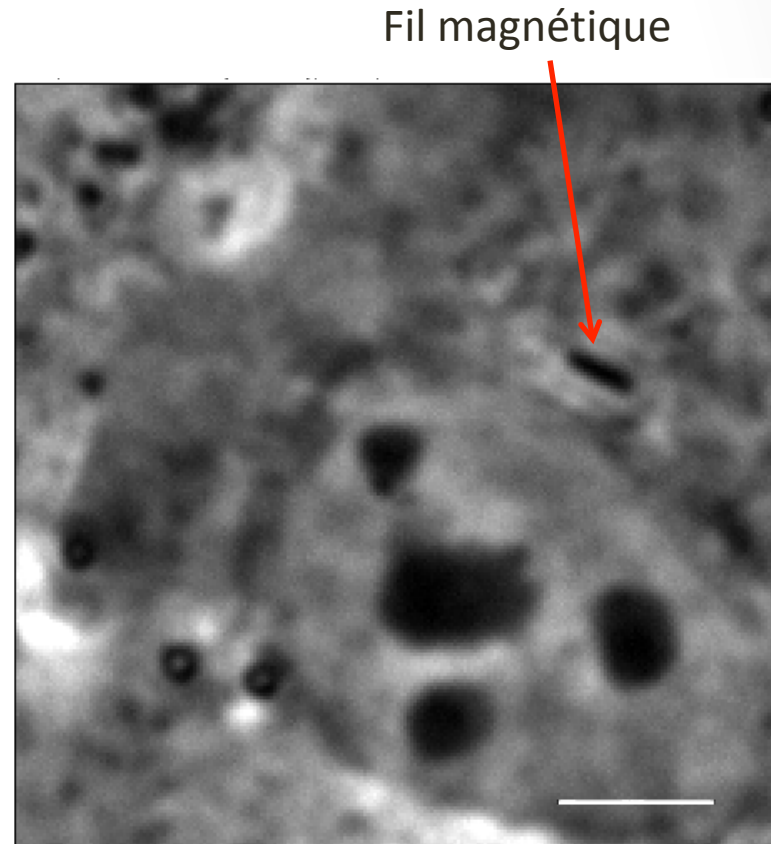
Cytoplasme → propriétés visco-élastique

Objectif de l'étude :

**Caractériser la viscosité
intracellulaire et ses
fluctuations**

Protocole biologique

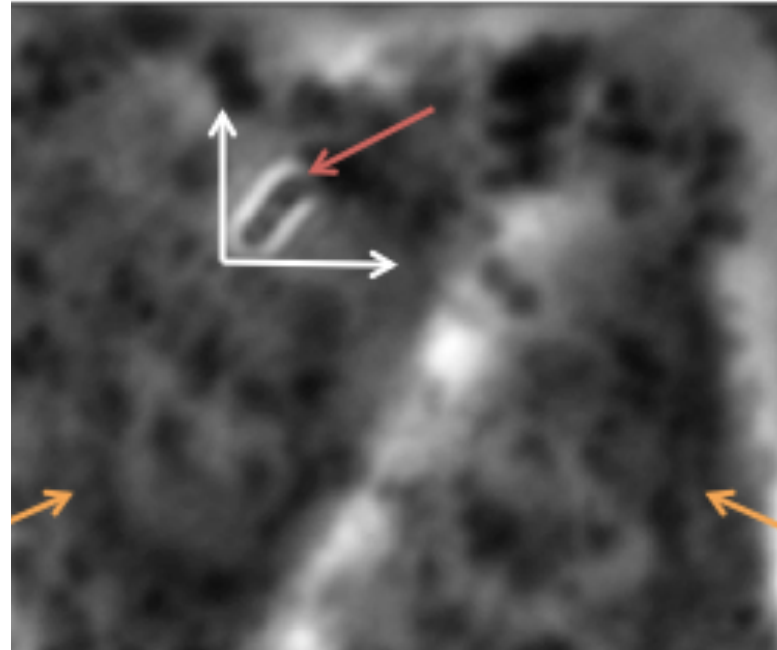
- Cellules fibroblastiques A549 incubée avec des nanofils magnétiques
- Les aiguilles **sédimentent** sur la surface de la cellule
- Entrent par **phagocytose**



Cellules fibroblastiques A549
Grossissement x60

Protocole biologique

- Aiguille soumise à un champ magnétique tournant
- Régime oscillatoire
- Rotation →
microscopie
électronique

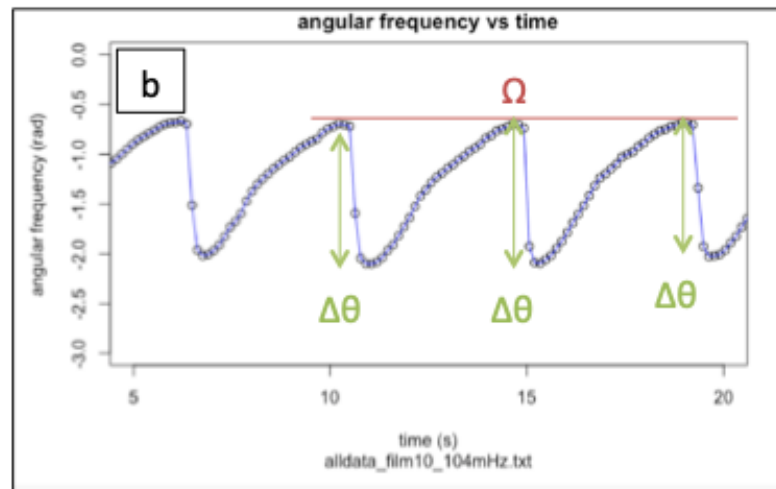
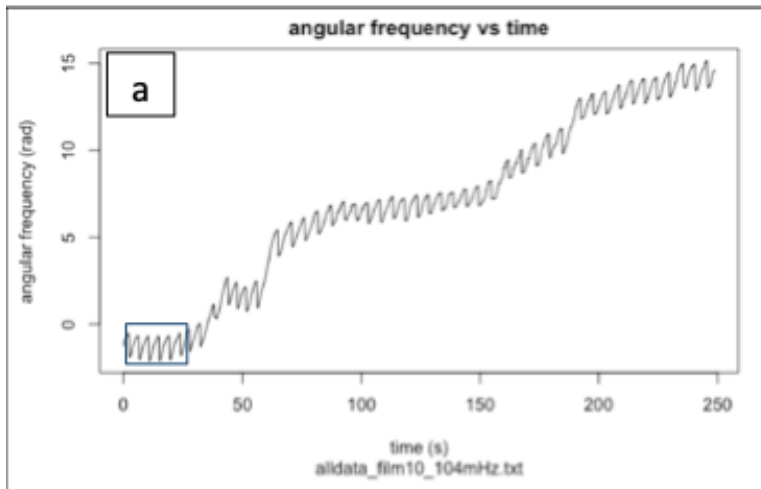


- Flèches blanches : axes
- Flèches Orange : cytoplasme
- Flèche rouge : fil magnétique

Protocole biologique

- Ω = **dérivée locale d'un maximum** \rightarrow **viscosité** (rad.s⁻¹)
- $\eta(t) \rightarrow$ **série temporelle**

$$\frac{\Delta\eta}{\bar{\eta}} \sim 1$$

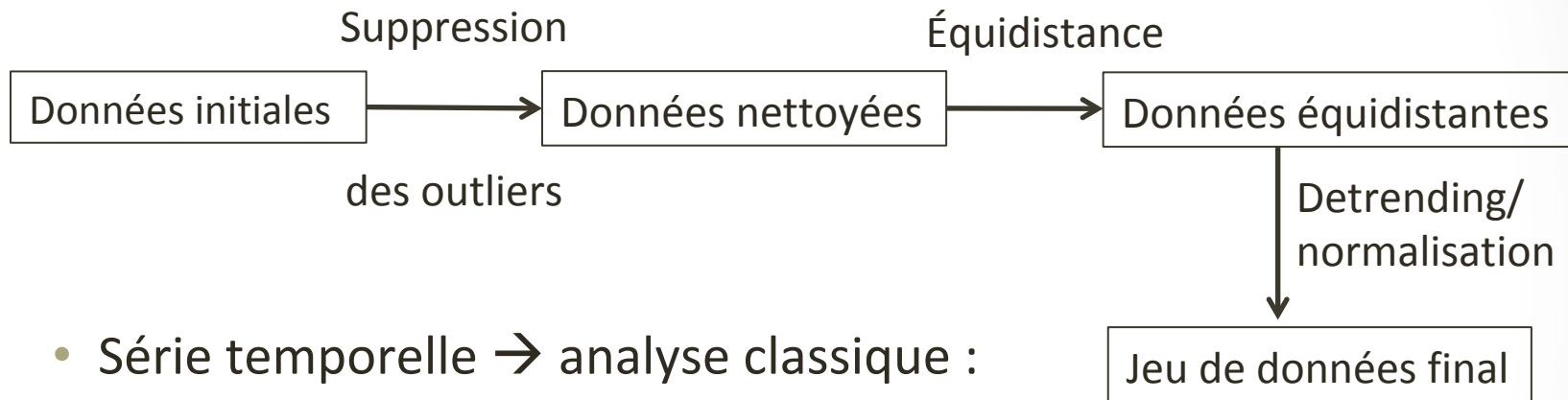


Graphe de la fréquence angulaire des aiguilles en fonction du temps

Pour $\omega_{\text{champ}} = 104.10^{-3}$ Hz

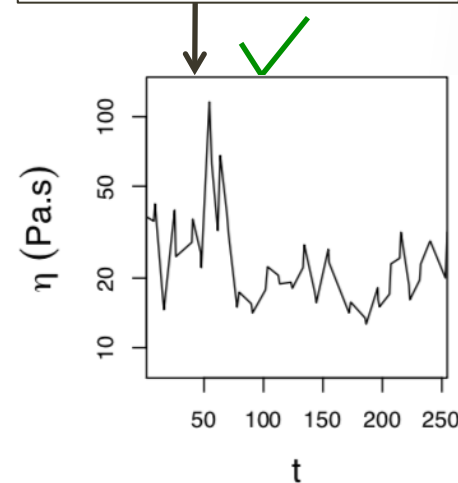
Analyse statistique

- Trois premières étapes obligatoires :



- Série temporelle → analyse classique :

- *ACF/PACF* : **pattern** dans la viscosité en fonction du temps ?
- *Variogramme* : **corrélation** entre un temps spécifique et la viscosité ?

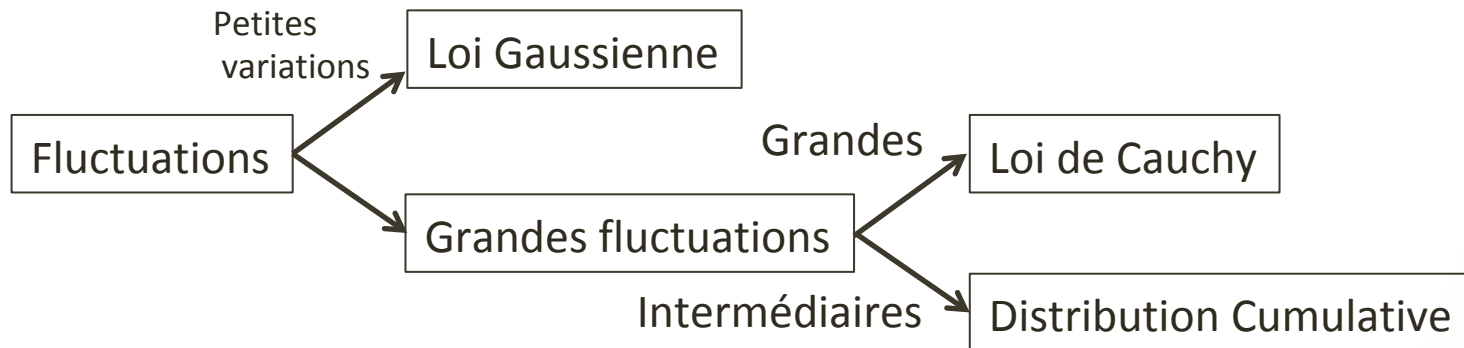


Analyse statistique

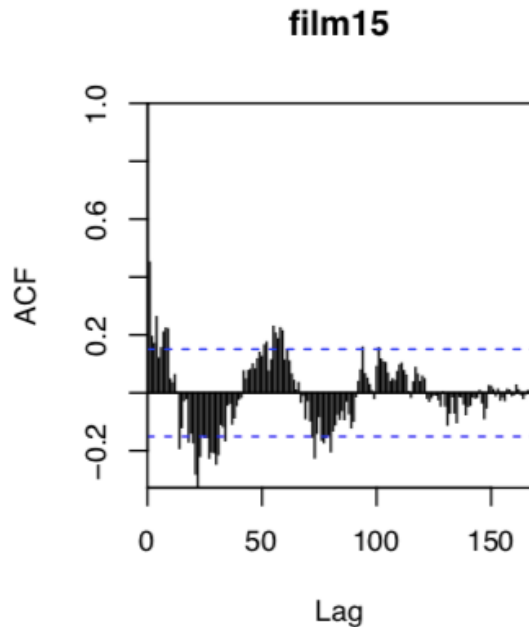
- Données de viscosité **stochastiques** → « General Random Walk » (GRW)
- General Random Walk + Hole effect (HE) sur le variogramme
- Ornstein-Ülenbeck process

↓
Mean-reverting (OUP)

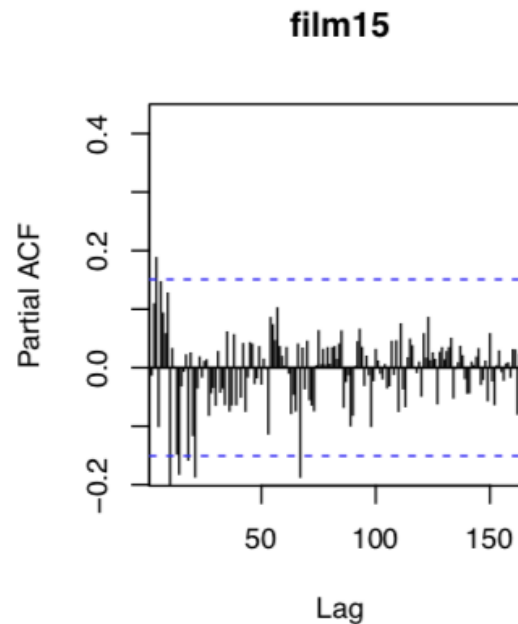
└─→ Fonction oscillatoire → indicatif
de relation entre le temps et la
viscosité



ACF & PACF



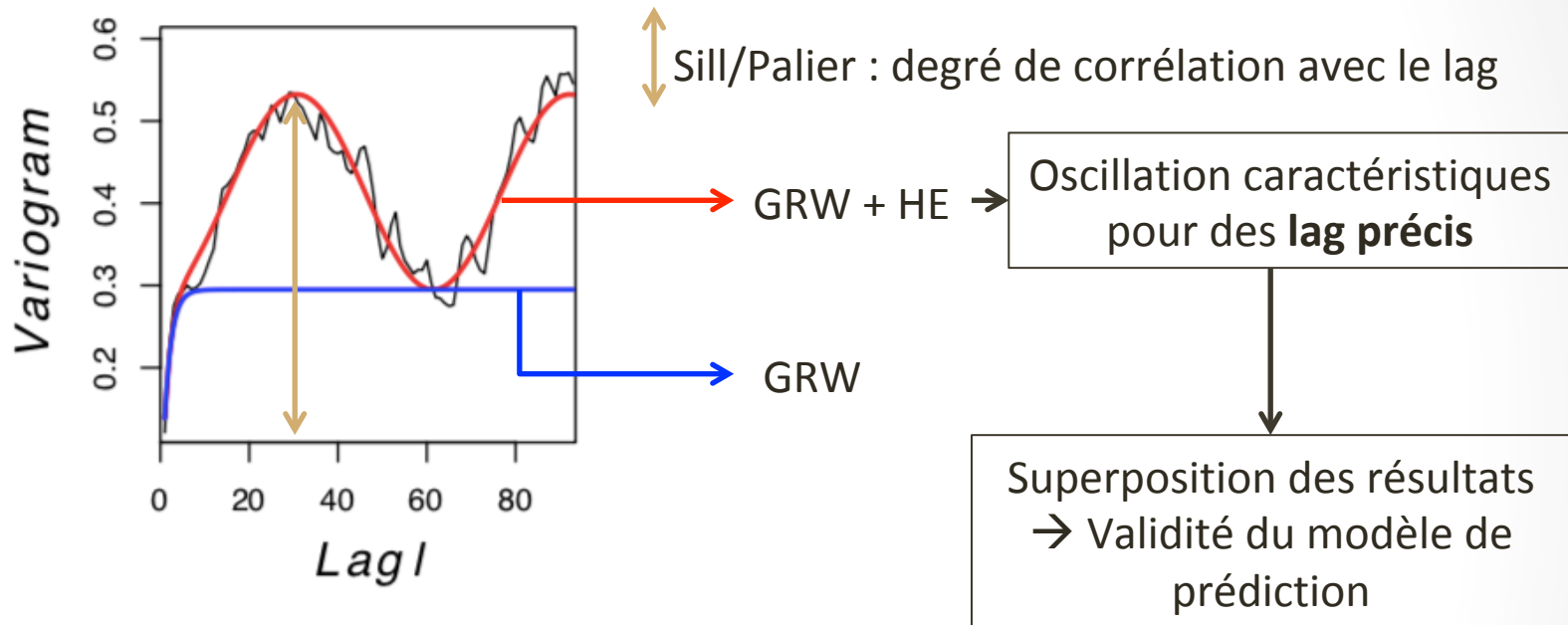
Degré de corrélation entre X_t et X_{t-k} (lag)



Conclusions de l'ACF vraiment **significatives**?

- Oscillations significatives visibles → caractère **autorégressif** des valeurs de viscosité

Variogramme



Degré de corrélation de viscosité
par rapport au **temps**

- Des paliers importants correspondent à des lag précis → **temps spécifiques** à la viscosité intracellulaire

Le paramètre α

- Paramètre clé $\alpha \rightarrow$ détermine l'aspect **aléatoire et autorégressif** des données

$\alpha = 0$	$\alpha = 1$	$0 < \alpha < 1$
Données totalement aléatoires	Données « purement Random Walk » Distribution Brownienne	α différent de 0 : autorégressivité Données stochastiques ET autorégressives GRW + HE

- Il a été montré que $\alpha \sim 0.60$ indépendamment des modèles et méthodes (ACF, variogramme, calcul de régression et distribution)

$$X_{t+1} = \alpha * X_t + \varepsilon$$

Conclusion

- Mêmes conclusions peut importe les approches :
 - **Complémentarité** des différents modèles
 - **Validité des modèles** appliqués à nos données
- GRW et GRW + HE parfaitement adaptés à des données **stochastiques et autorégressives**
- Mean-reverting : temps de relaxation cellulaire incluse entre **1-10 et 100-200s**
- Modèles des marchés financiers utilisés en biologie



**Même approche sur
différents domaines** (pour des
séries temporelles aléatoires
et autorégressives)