

Aspects fractals de séries temporelles

Application à l'étude de la marche



Dr F. Buisseret

25/04/17

“Big” data ?

- “Data”

Série temporelle

Nombre de séries

- Statistiques descriptives

- Dynamique ?

Taille des séries

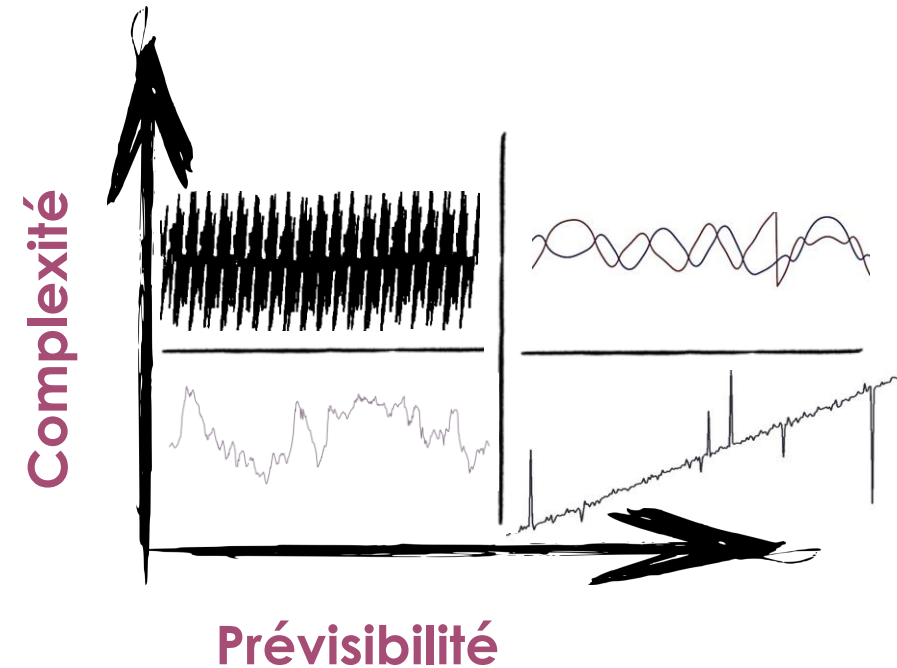


La dynamique...

- Est-elle connue / supposée ?

$$\text{Etat}_{i+1} = \text{Transition}(\text{Etat}_{j \leq i})$$

- Généralement non
- Tendances de la série temporelle ?
 - “Prévisible” vs aléatoire
 - Complexe vs “lisse”

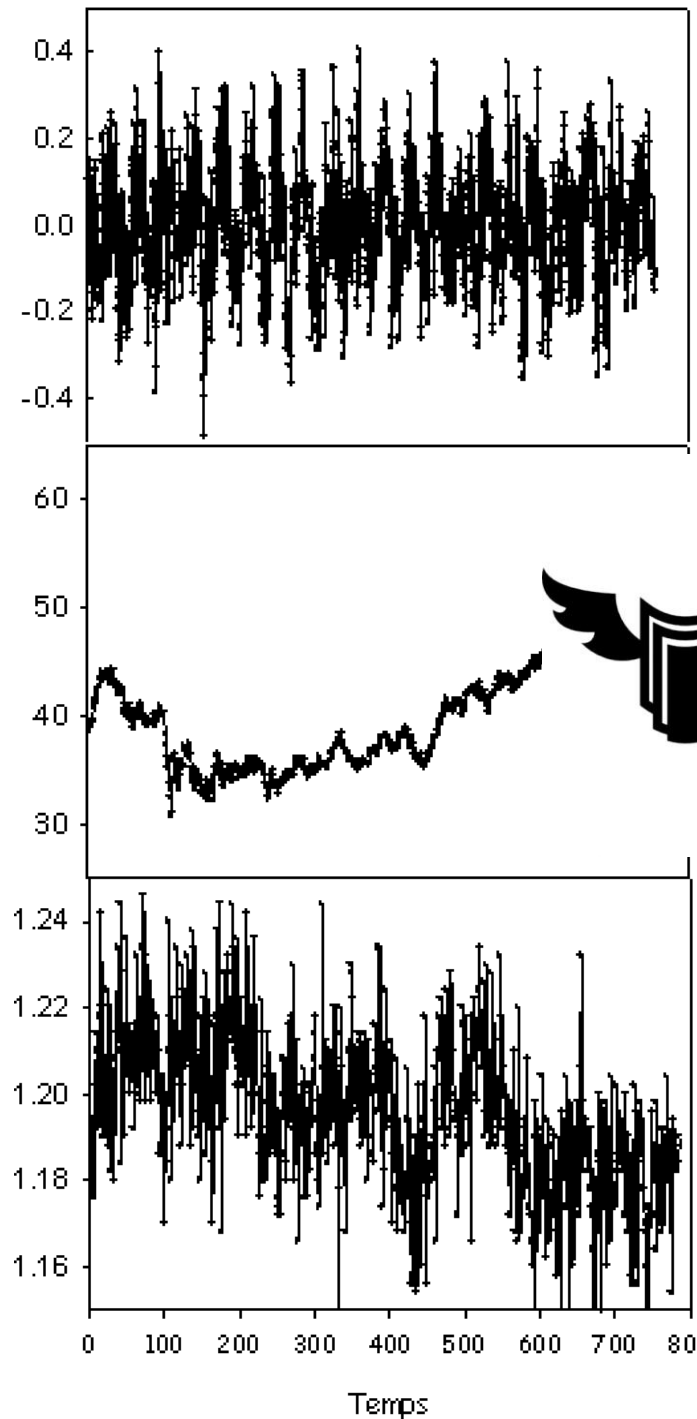


3 exemples

- Accélération (g) / temps

- Cours d'une action (€) / jour

- Durée du cycle de marche (s)
 - Marche avant sur tapis roulant

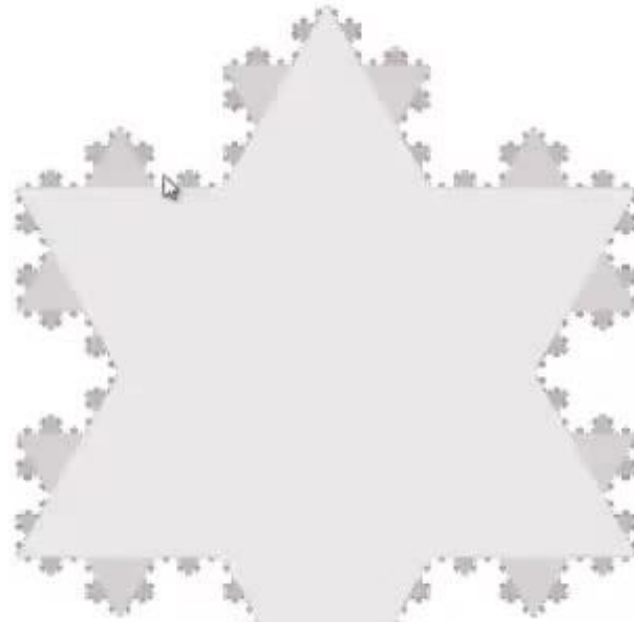
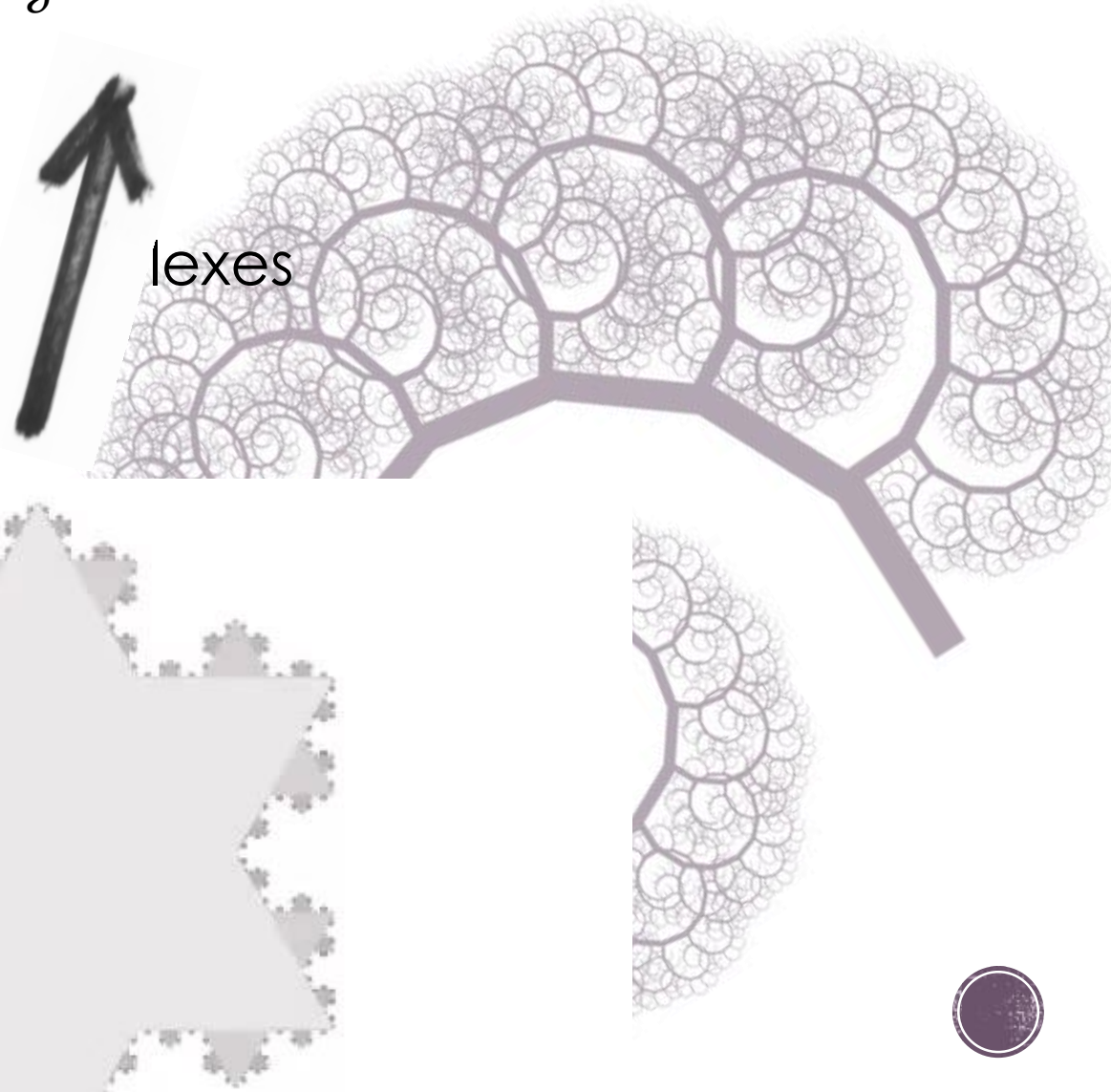


Les outils

*Courbe, surface ou volume
présentant une invariance par
changement d'échelle*

- Analyse non-linéaire
 - Quantification de comportements c
 - Indicateurs "simples".
- Nous présenterons un indice...
 - ... de "comple
 - ... de "prévisik
 - ... parmi tant c

Kantz H & Schre
Analysis, Camk

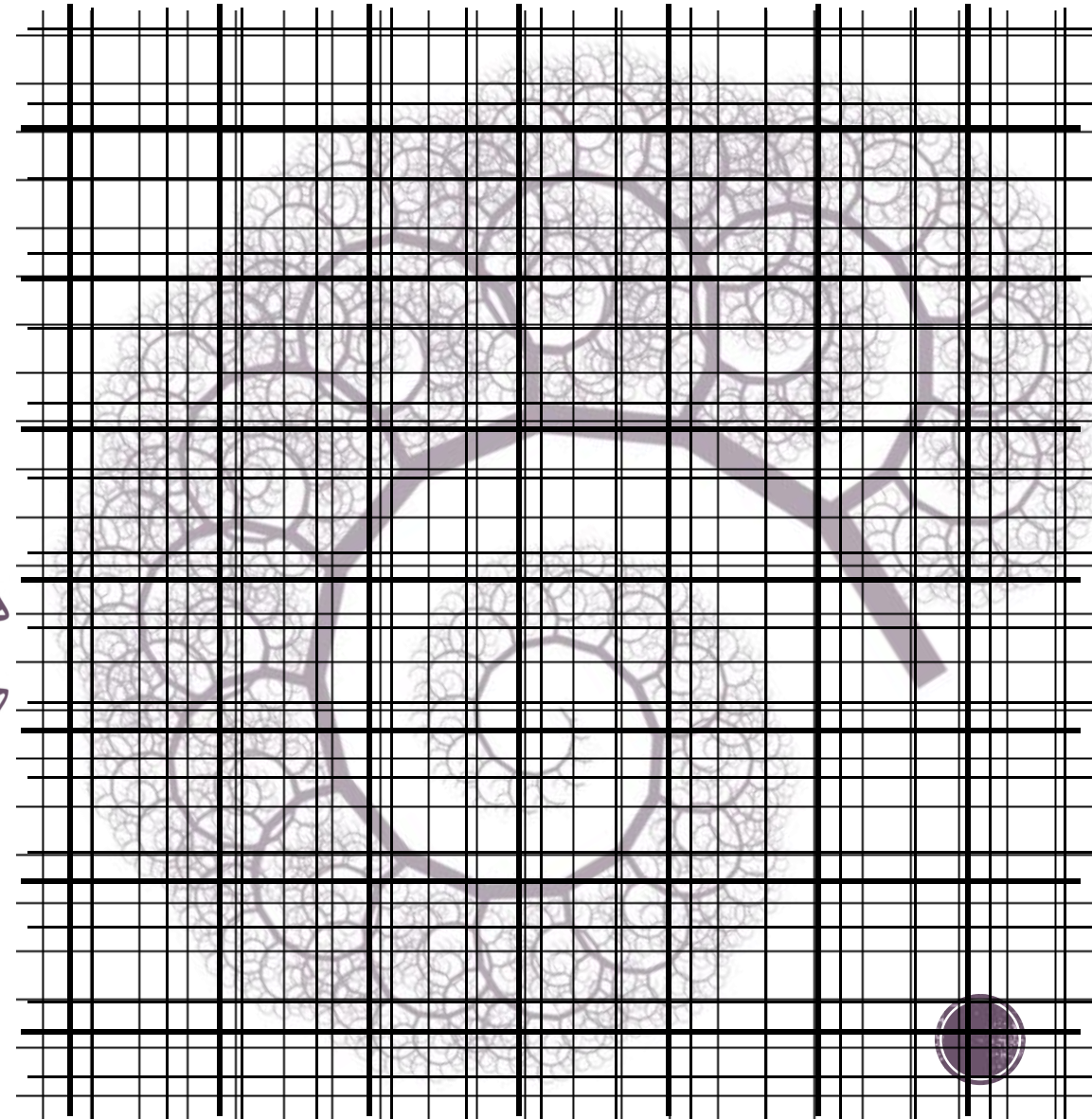


Dimension fractale

- Box counting
 - Nombre de boîtes de taille ε nécessaires pour couvrir la figure ?

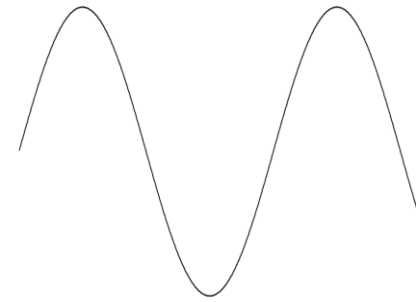
$$N(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-D}$$

- Peut-être non-naturel
- ...Structures naturelles

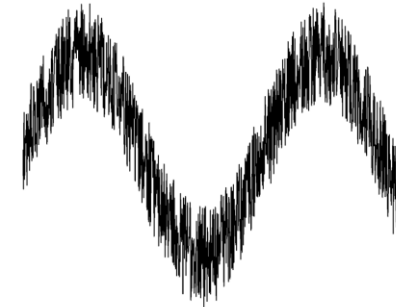


Dimension fractale

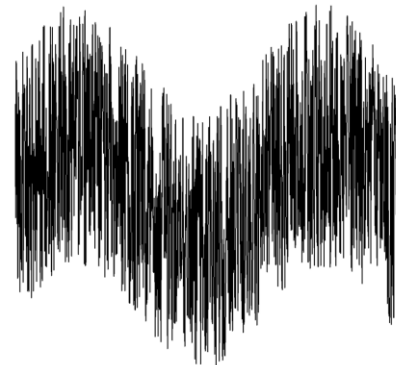
- Que mesure D dans une série temporelle ?
 - Complexité / structure des fluctuations relatives d'un instant à l'autre
 - "Rugosité apparente" de la courbe



$$D = 1$$



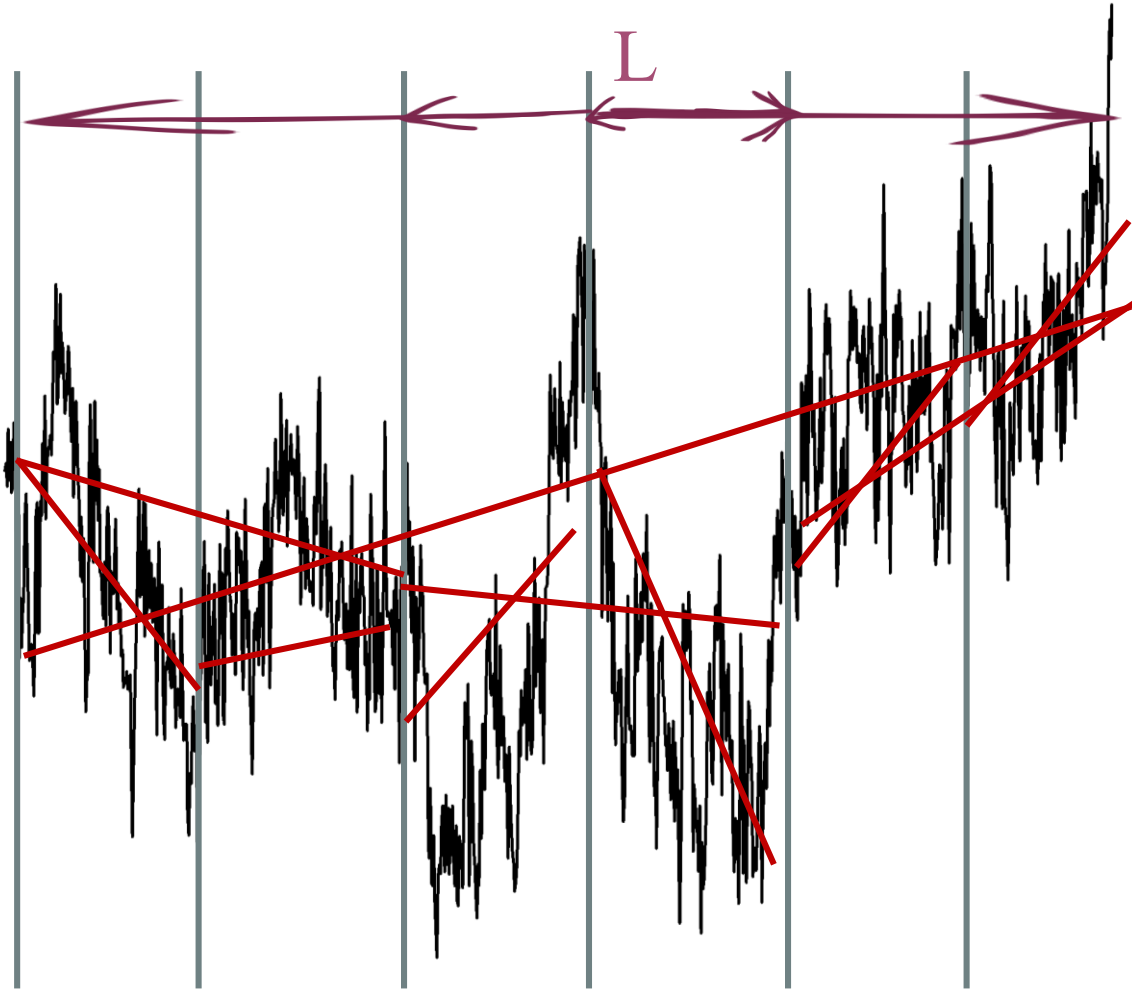
$$1 < D < 2$$



$$D \sim 2$$



Exposant de Hurst



$$F(L) = \left(\frac{\text{[Time Series Segment]} - \text{[Trend Line]}}{\text{[Trend Line]}} \right)^2$$

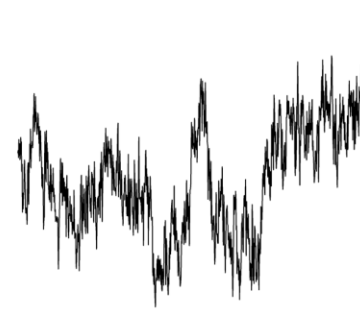


$$F(L)^2 \sim L^{2\alpha}$$

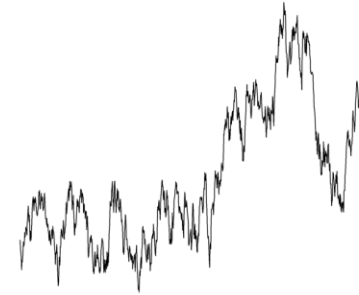


Exposant de Hurst

- Que mesure α dans une série temporelle ?
 - Autocorrélations à **long terme**
 - “Prévisibilité” de la série de données
 - Mathématiques financières



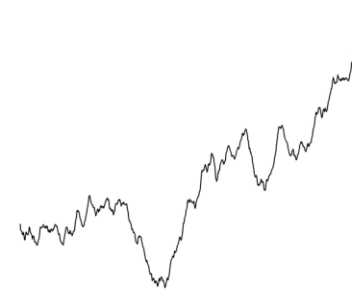
$0 < \alpha < 0.5$
Anticorrélé



$\alpha = 0.5$
Aléatoire

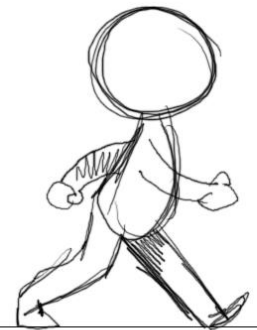


$0.5 < \alpha < 1$
Corrélé



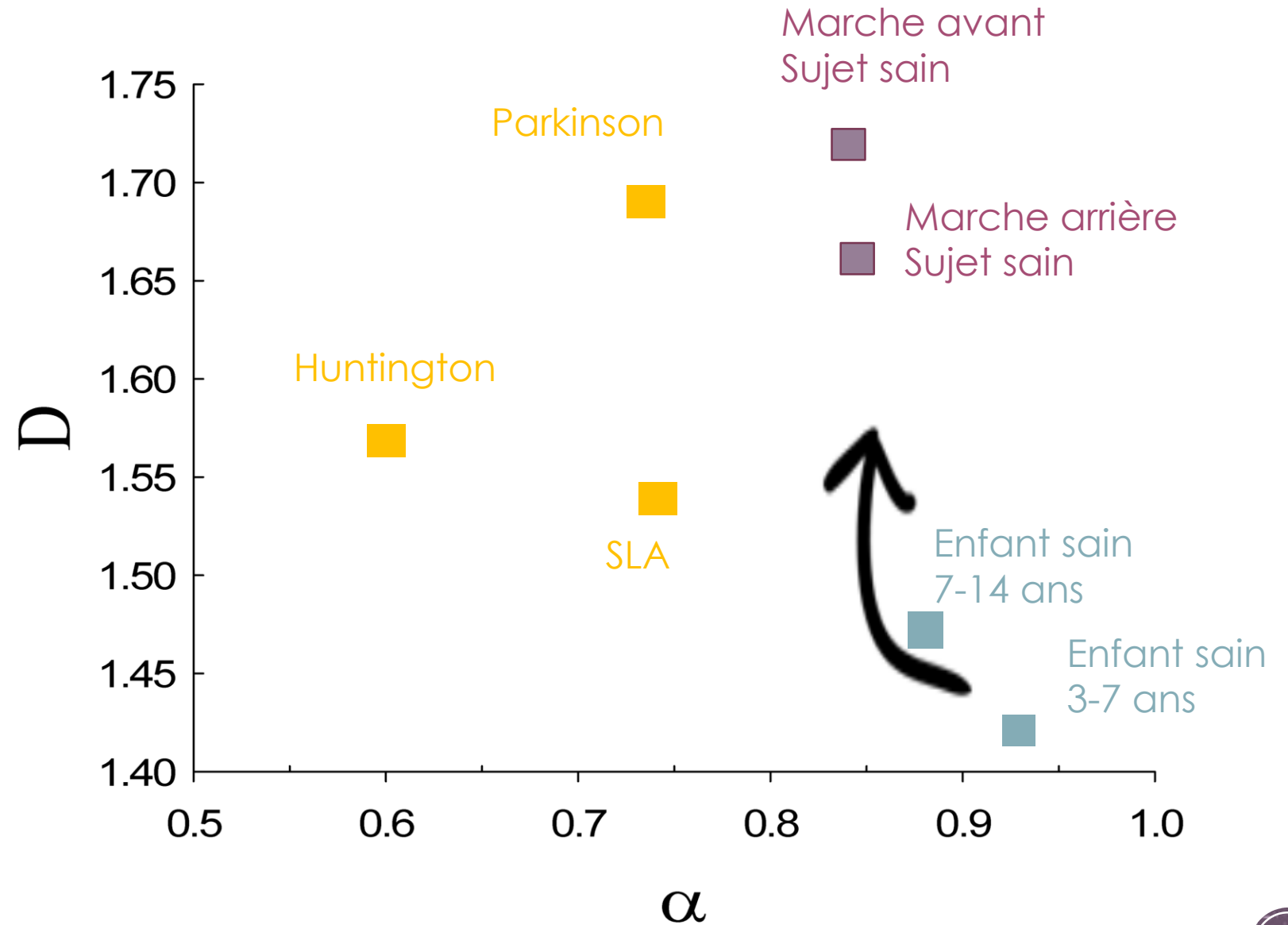
Etude de la marche

- Procédure-type
 - Faire marcher des sujets sains ou pathologiques sur un tapis roulant ;
 - Pendant une longue durée (+ de 500 cycles) ;
 - Mesurer α (et D) pour la durée des cycles successifs.
- Les modalités varient fortement dans la littérature
 - Relativement récent : après 1997 ;
 - Marche avant / arrière / avec double tâche ...
- Fréquence d'acquisition de 500 Hz minimum



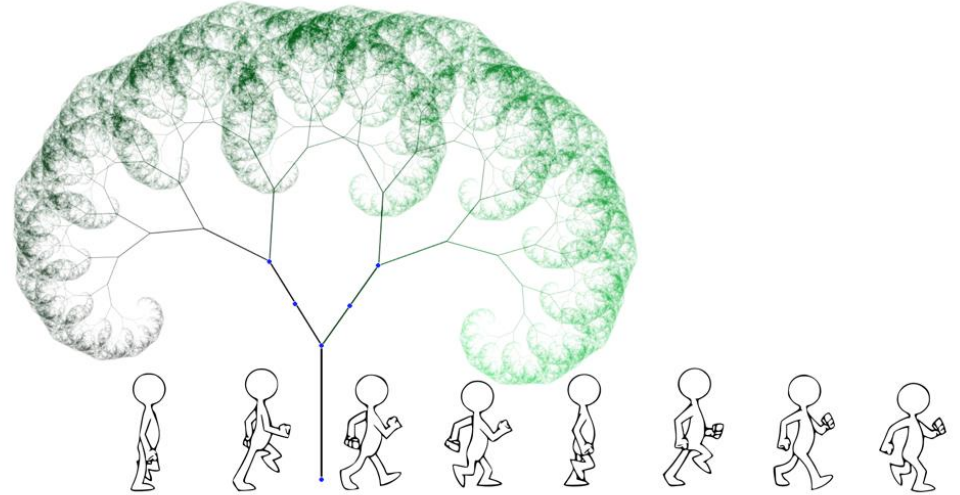
Résultats

- Compilation de la littérature pour α .
- Ajout de D pour les données disponibles

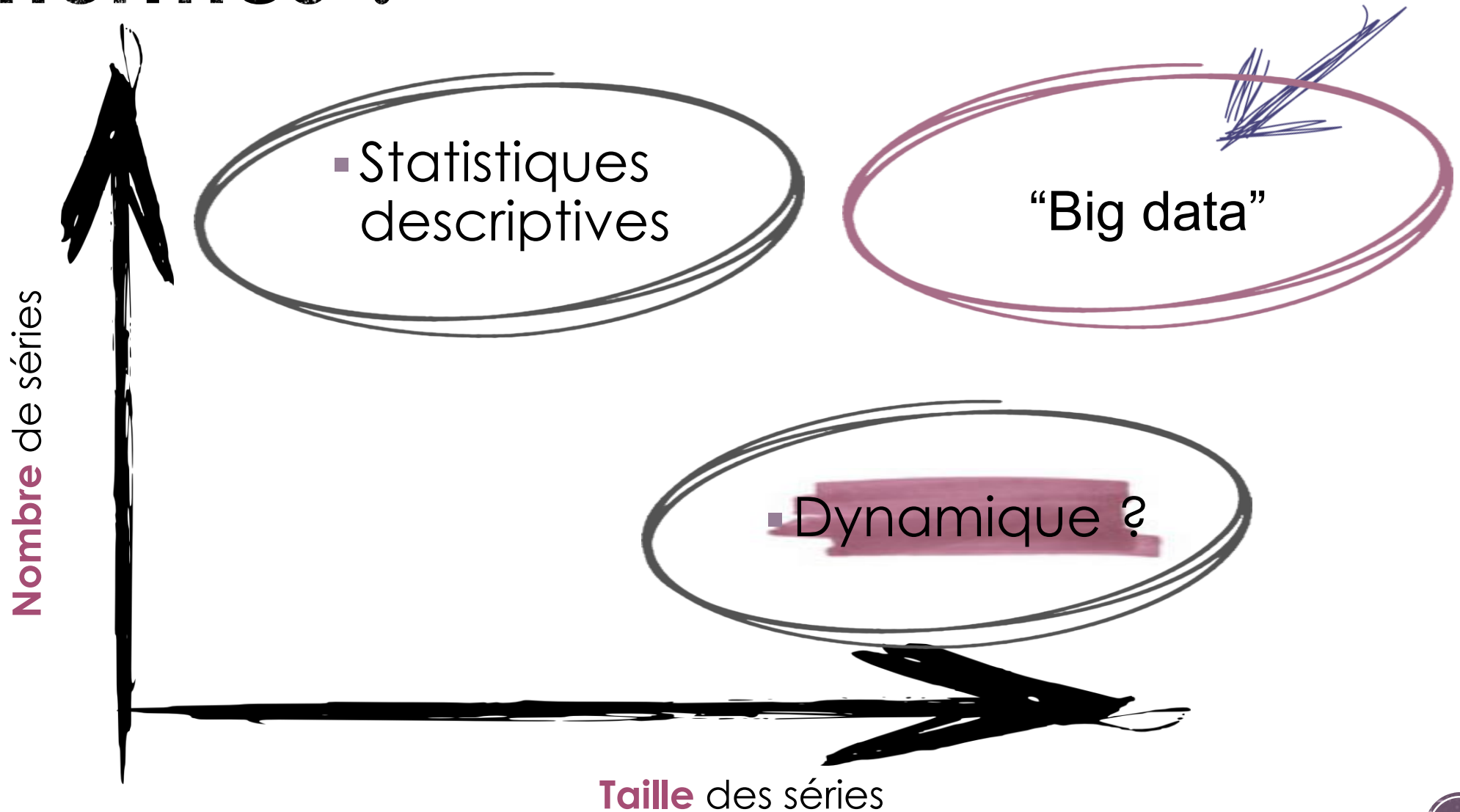


Ce qui se dessine

- L'individu sain réalise
 - un **maximum** de complexité
 - un **optimum** de prévisibilité
- Deux dimensions sont nécessaires pour séparer les cas étudiés
- Possibilité de classification / diagnostic ?
 - Etablir des normes



Des normes ?



Pour aller plus loin

- Notre contribution

F. Dierick, A.-L. Nivard, O. White, and F. Buisseret, *Changing Complexity and Autocorrelations of Long Time Series Stride Interval With Walking Direction and Vestibular Stimulation*, arXiv:1703.09487, submitted to Plos Computational Biology.

- Exposant de Hurst et analyse de la marche : une sélection
 - Hausdorff J et al., *Fractal dynamics of human gait : stability of long-range correlations in stride interval fluctuations*, Journal of Applied Physiology 80, 1448 (1996).
 - Hausdorff J, Zmany L, Peng C, Glabberger A, *Maturation of gait dynamics : stride-to-stride variability and its temporal organization in children*, Journal of applied Physiology 86, 1040 (1999).
 - Warlop T et al., *Temporal organization of stride duration variability as a marker of gait instability in Parkinson's disease*, J Rehabil Med 48, 865 (2016).
 - Moon Y, Sung J, An R, Hernandez M, Sosnoff J, *Gait variability in people with neurological disorders : a systematic review and meta-analysis*, Human Movement Science 46, 197 (2016).

