

**DE LA PHYSIQUE STATISTIQUE  
AUX SCIENCES SOCIALES**

**II. LES PRIX SONT-ILS « EFFICIENTS » ?  
ECOLOGIE DES MARCHES FINANCIERS**

**Chaire de l'Innovation L. Bettencourt**

**Jean-Philippe Bouchaud**

# 1. Que reflètent les prix de marché ?

- Marchés « efficaces » : les prix reflètent *fidèlement* la « valeur fondamentale » et ne changent que parce qu'une nouvelle information *non anticipée* devient connue (chocs exogènes, rares)
- Volatilité endogène : les prix bougent principalement sous l'effet des transactions, informées ou non (« impact ») → universalité ?
- De nombreuses observations empiriques favorisent le second scénario (cf. cours 1,3) → Découplage prix/valeur, bulles, krachs ?

**Eugene Fama (2010)**: *The word “bubble” drives me nuts, frankly. I don’t even know what a bubble means. [...] Prices (in 2008) **started to decline in advance of when people recognized that it was a recession...** That’s exactly what you would expect if markets were efficient. (!)*

[Cf. Robert Lucas (2009): *The 2008 crisis was not predicted because economic theory predicts that such crises cannot be predicted.*]

## Le prix Nobel 2013: Fama vs. Shiller

**Robert Shiller (NYT, 2013)**: *Professor Fama is the father of modern efficient-markets theory, which says financial prices **efficiently incorporate all available information** and are in that sense perfect. In contrast, I have argued that the theory makes little sense, except in fairly trivial ways. Of course, prices reflect available information. But they are far from perfect. [...] Along with like-minded colleagues and former students, I emphasize the enormous role played in markets by **human error**. [...] Market prices are esteemed as if they were oracles. This view grew to dominate much professional thinking in economics, and its implications are dangerous. It is a substantial reason for the economic crisis we have been stuck in for the past five years, for it led authorities in the United States and elsewhere to be complacent about [...] **the instability of the global system.***

*The evidence that large market moves occur on days without identifiable major news casts doubts on the view that price movements are fully explicable by news...* (Cutler-Poterba-Summers, 1989) → **Sauts endogènes et “Excess volatility puzzle”** (R. Shiller)

**Table 4: Fifty Largest Postwar Movements in S&P Index and Their “Causes”**

	<u>Date</u>	<u>Percent Change</u>	<u>New York Times Explanation</u>
1	Oct. 19, 1987	-20.47%	Worry over dollar decline and trade deficit; Fear of US not supporting dollar.
2	Oct. 21, 1987	9.10%	Interest rates continue to fall; deficit talks in Washington; bargain hunting.
3	Oct. 26, 1987	-8.28%	Fear of budget deficits; margin calls; reaction to falling foreign stocks
4	Sep. 3, 1946	-6.73%	“...no basic reason for the assault on prices.”
5	May 28, 1962	-6.68%	Kennedy forces rollback of steel price hike.
6	Sep. 26, 1955	-6.62%	Eisenhower suffers heart attack.
7	Jun. 26, 1950	-5.38%	Outbreak of Korean War.
8	Oct. 20, 1987	5.33%	Investors looking for “quality stocks”.
9	Sep. 9, 1946	-5.24%	Labor unrest in maritime and trucking industries.
10	Oct. 16, 1987	-5.16%	Fear of trade deficit; fear of higher interest rates; tension with Iran.

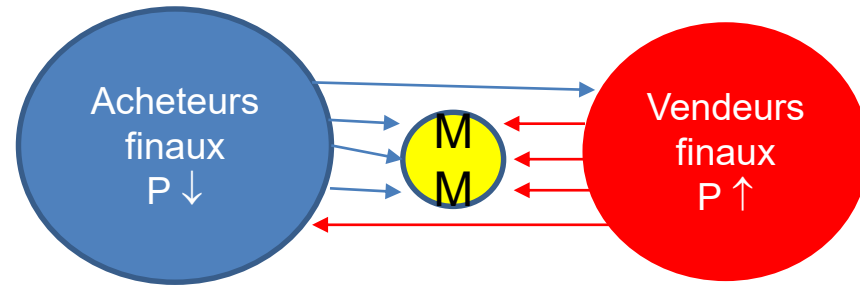
## 2. L'Écologie des Marchés Financiers

- Différents types de marchés
  - **Actions individuelles, indices** (S&P, CAC40)
  - Obligations (taux d'intérêt)
  - Matières premières (céréales, pétrole, etc.)
  - Devises, métaux précieux
  - Etc.
- Marchés « spot », marchés dérivés (à terme, options, etc.)

## 2. L'Écologie des Marchés Financiers

### ➤ Différents types d'acteurs

- Fonds de pension, investisseurs instits. (banques/assurances/fondations)
- Banques centrales, fonds souverains (devises, taux, actions)
- Entreprises (couverture)
- Fonds d'investissement (achat et/ou vente à découvert)
- Particuliers (placements/besoins de liquidité)
- Teneurs de marché, THF (fournisseurs de liquidité)



Tension fondamentale

## Teneurs de marché (« Market Makers »)

- Intermédiaires de coordination entre acheteurs et vendeurs
- Favorisent un fonctionnement stable et efficace des marchés
- Rétribution via la fourchette « bid-ask » → cours 3
- Participent à une fraction importante des transactions (THF)
- Crises de liquidité → cours 3

## 2. L'Écologie des Marchés Financiers

- Différents types de stratégies (hors MM)
  - Analyse « fondamentale » : bilans des entreprises, indicateurs macroéconomiques, considérations géopolitiques, etc.
  - Analyse « keynesienne » (biais comportementaux)
  - Anomalies statistiques (tendances, MR, saisonnalités, etc.)
  - Arbitrage de primes de risque (« carry », options, etc.)
  - « Noise traders » (épargne passive, besoins de liquidité, paniques)



*Investment based on **genuine long-term expectation** is so difficult [. . .] as to be **scarcely practicable**. He who attempts it must surely [. . .] run greater risks than he who tries to guess better than the crowd how the crowd will behave (Keynes)*

*The key to investment success is not just predicting future fundamentals, but also **predicting the movement of other active investors**. Market professionals spend considerable resources tracking price trends, [...] investor sentiment indexes and other gauges of demand for equities. Tracking these possible indicators of demand makes no sense if prices responded only to fundamental news and not to investor demand (Shleifer & Summers)*

## 2. L'Écologie des Marchés Financiers

- Différents types de stratégies (hors MM)
- Analyse « fondamentale » : bilans des entreprises, indicateurs macroéconomiques, considérations géopolitiques, etc.
- Analyse « keynesienne » (biais comportementaux →)
- Anomalies statistiques (tendances, MR, saisonnalités, etc.)
- Arbitrage de primes de risque (facteurs, « carry », options, etc.)
- Pas de stratégie (épargne passive, besoins de liquidité, paniques)

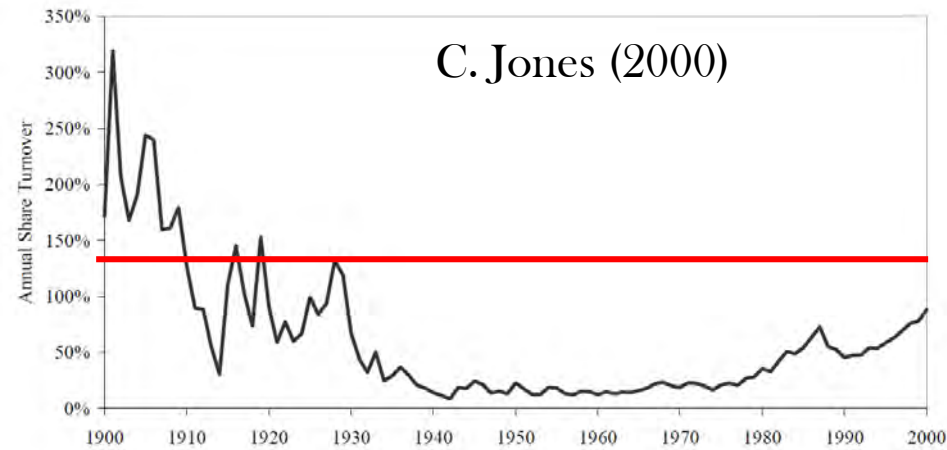
## Biais comportementaux prévalents → Effets systématiques

- Ancrage (influence laissée par la première impression)
- Confirmation (favoriser les exemples qui confortent son opinion)
- Latence (ou « stickyness » : « une hirondelle ne fait pas de printemps »)
- Mauvaise évaluation des probabilités (« biased » Bayes, événements rares, etc.)
- Sur-interprétation du passé pour prédire l'avenir (surcalibration)
- Mimétisme & « Animal Spirits » (suivi de tendance, paniques)
- Barrière de la complexité, viralité des récits simplificateurs, infodémie (Shiller)
- Effet loterie et aléa moral, etc. etc.

*Quand des hommes sont rapprochés, ils ne se décident plus au hasard et indépendamment les uns des autres; ils réagissent les uns sur les autres. Des causes multiples entrent en action, elles troublent les hommes, les entraînent à droite et à gauche, mais il y a une chose qu'elles ne peuvent détruire, ce sont leurs habitudes de moutons de Panurge. (Poincaré)*

## Biais comportementaux prévalents → Effets systématiques

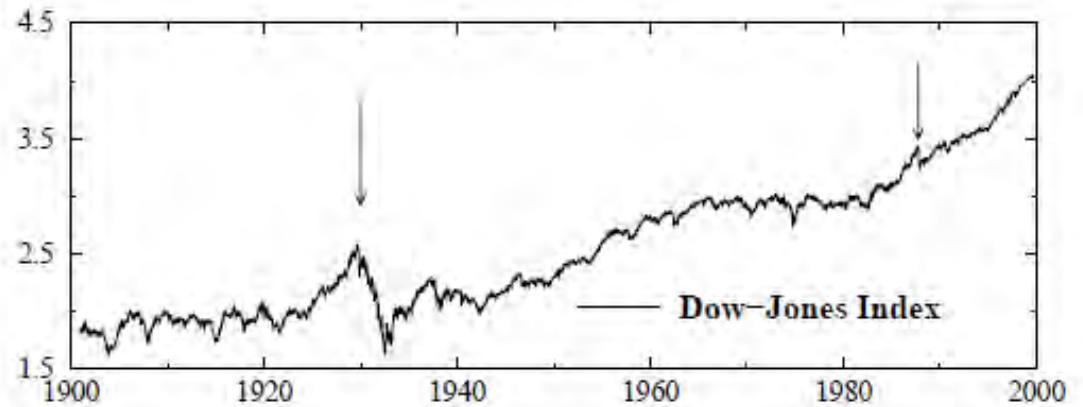
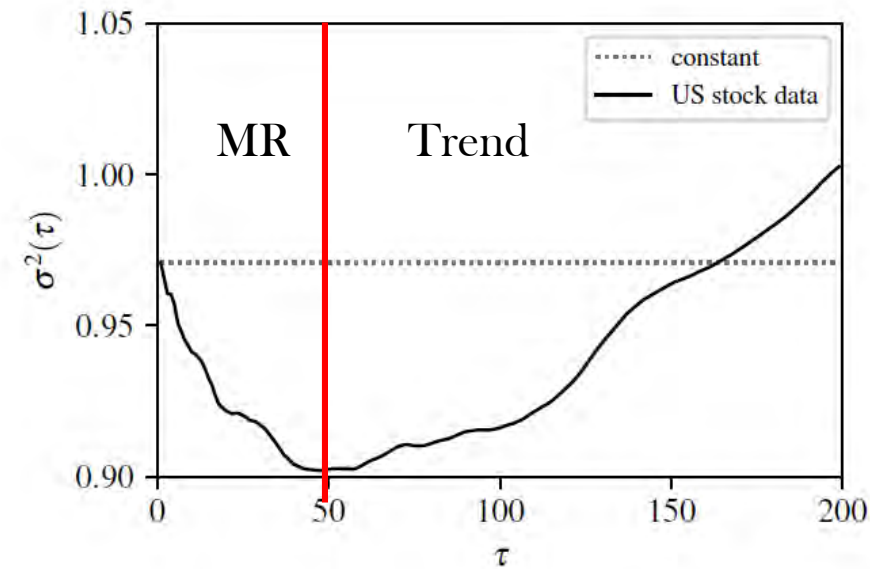
- Ancrage (influence laissée par la première impression)
- Confirmation (favoriser les exemples qui confortent son opinion)
- Latence (ou « stickyness » : « une hirondelle ne fait pas de printemps »)
- Mauvaise évaluation des probabilités (« biased » Bayes, événements rares, etc.)
- Sur-interprétation du passé pour prédire (surcalibration)
- Mimétisme & « Animal Spirits » (suivi de tendance, paniques)
- Barrière de la complexité, viralité des récits simplificateurs, infodémie (Shiller)
- Effet loterie et aléa moral, etc. etc.



Volume

### 3. Quelques ordres de grandeurs

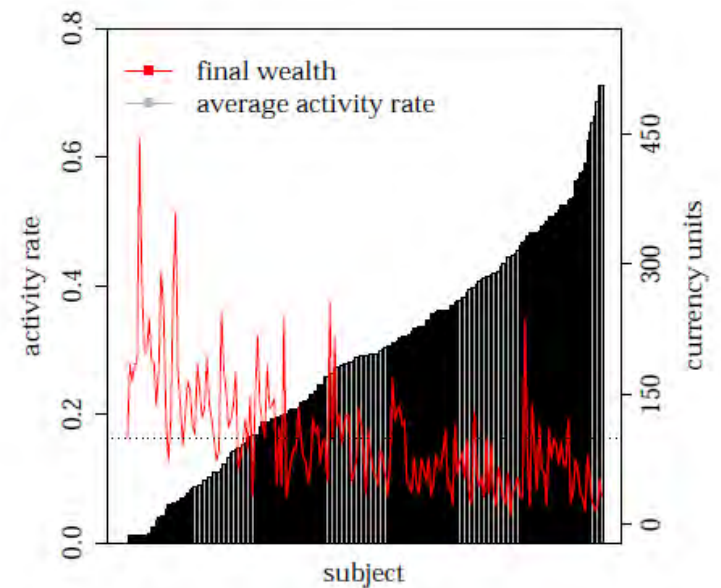
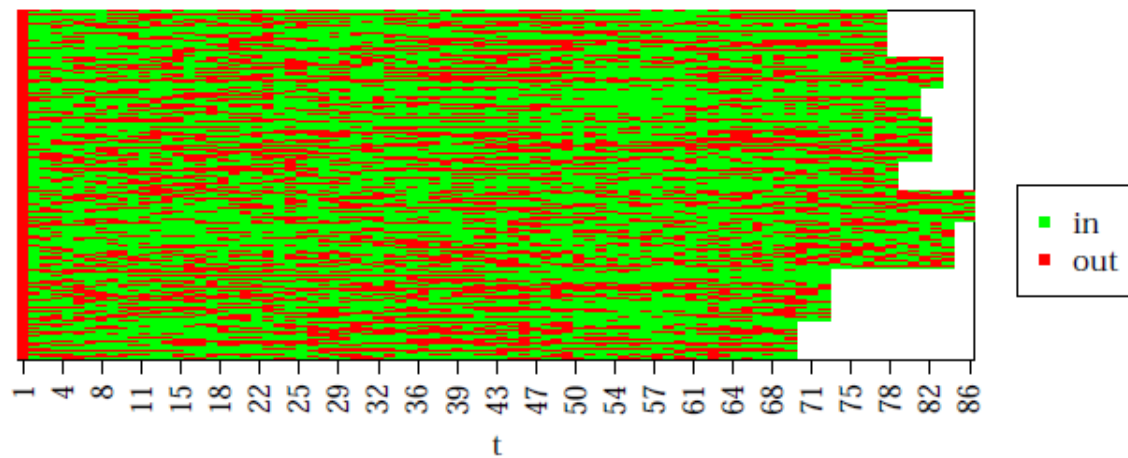
- PIB annuel US : ~ 20 T\$
- Epargne individuelle totale (US) : ~ 10 T\$
- Capitalisation boursière totale (US) : ~ 40 T\$
- Volume total échangé sur les marchés actions ~ 0.5% Mcap/jour
- Entre 1995 et 2015, ADV x2 et # transactions x10 - x100 (THF)



### 3. Echelles de temps

- Temps moyen entre 2 évènements carnet d'ordre:  $< 1$  sec
- Temps moyen entre 2 transactions consécutives :  $\sim 10$  secs (MM)
- Stratégies « fondamentales » : mois - années
- Stratégies « techniques » : qqs heures  $\rightarrow$  qqs mois (THF=Bid-Ask)
- MR (10 jours)  $\rightarrow$  Trend (6 mois - 1 an)  $\rightarrow$  MR (5 ans)
- Significativité statistique :  $R=5\%/an$  ;  $\sigma=15\%/an$   $\rightarrow$   $(\sigma/R)^2 \sim 10$  ans
- Difficile de séparer signal et bruit, « plaie » de la gestion financière

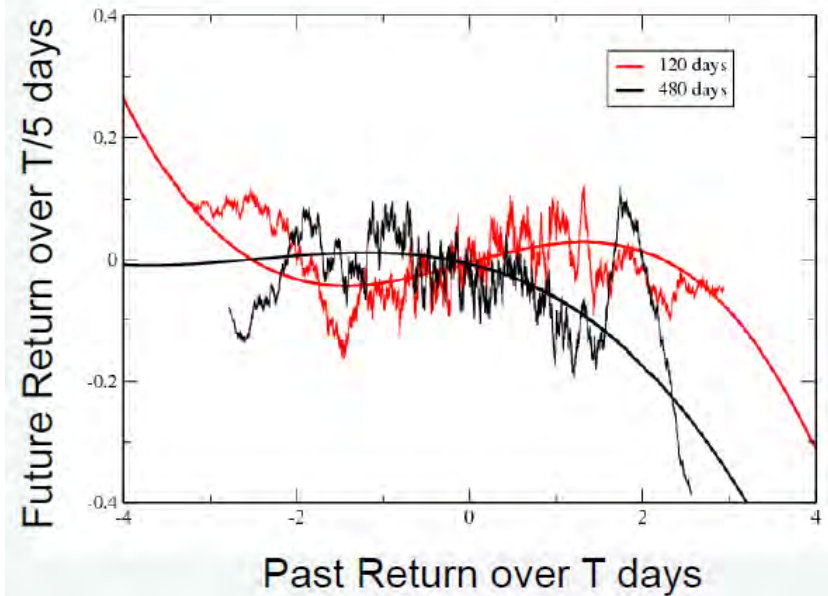
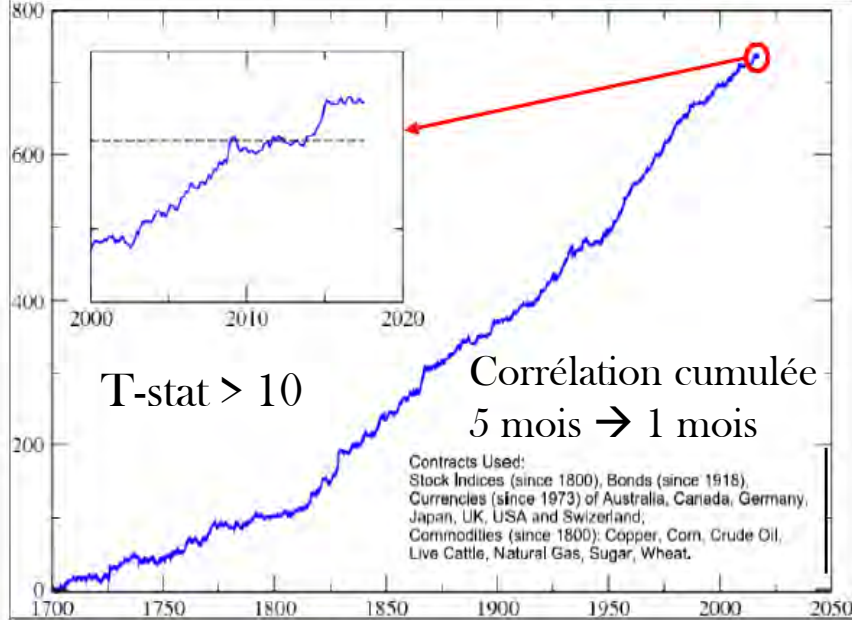
subject



J. Batista, D. Massaro, JPB, D. Challet, C. Hommes 2017

### 3. Information vs. « Animal Spirits »

- ~ 35 % des gestionnaires battent leur indice (inter alia: frais/coûts)
- ~ 1% des transactions semblent « informées » (→ cours 3)
- Transactions en excès (« animal spirits »)
- Do Investors Trade Too Much? (T. Odean, 1999)
- Do Investors Trade Too Much? A Laboratory Experiment (J. Batista, D. Massaro, JPB, D. Challet, C. Hommes)



## 4. « Trend » vs. MR : Un modèle d'agents stylisé

- Anomalie univ. : « Trend » à moyen terme puis MR à long terme
- Ingrédients du modèle : Offre/Demande dominée par
  - Analyse fondamentale bruitée + mimétisme
  - Suivi de tendance
  - Nouvelles

$$\lambda \frac{dp}{dt} = d(p, v, \dot{p}, \dot{v}, \dots)$$

$$\frac{dv}{dt} = \mu + \sigma_v \xi(t)$$

## 4. Un modèle d'agents stylisé

- Approche « phénoménologique »
- Formalisme continu ;  $p = \log(\text{prix})$  ;  $v = \log(\text{valeur})$
- $d = D - O$  : déséquilibre offre/demande agrégée
- Impact : les prix répondent linéairement au déséquilibre agrégé  $d$
- $\lambda$  : liquidité
- $\mu$  : taux de croissance long terme de la valeur fondamentale
- $\sigma_v$  : volatilité de la valeur fondamentale



$$\lambda \frac{dp}{dt} = d(p, v, \dot{p}, \dot{v}, \dots)$$

$$\frac{dv}{dt} = \mu + \sigma_v \xi(t)$$

## 4. Un modèle d'agents stylisé

$$d(t) = \underbrace{F(p(t) - v(t))}_{\text{fondamental}} + \underbrace{G(m(t))}_{\text{trend}} + \underbrace{\lambda \chi \dot{v}(t)}_{\text{news}} + \underbrace{\eta(t)}_{\text{noise}}$$

$$m(t) = \int_{-\infty}^t dt' [\dot{p}(t') - \dot{v}(t')] e^{-\Gamma(t-t')}$$

## 4. Un modèle d'agents stylisé

- Remarque importante:  $v$  n'est pas observable, mais seulement estimé par les agents, avec un biais  $\varepsilon_i$  :  $v \rightarrow v - \varepsilon_i$
- Analyse fondamentale de l'agent  $i$ , dont le « poids » est  $w_i$

$$d_i = -a_i(p - v + \varepsilon_i) - c_i(p - v + \varepsilon_i)^3 + \dots$$

$$d_i = -a_i(p - v + \varepsilon_i) - c_i(p - v + \varepsilon_i)^3 + \dots$$

$$P(\varepsilon) = P(-\varepsilon),$$

$(w, \varepsilon)$  indépendants

$$\begin{aligned} d := \frac{1}{N} \sum_i w_i d_i &= - \underbrace{\frac{1}{N} \sum_i w_i (a_i + 3c_i \varepsilon_i^2)}_{\bar{a}} (p - v) + \underbrace{\frac{1}{N} \sum_i w_i c_i}_{\bar{c}} (p - v)^3 \\ &- \underbrace{\frac{1}{N} \left[ \sum_i w_i \varepsilon_i (a_i + 3c_i (p - v)^2 + \varepsilon_i^2) \right]}_{\eta} + \dots \end{aligned}$$

19

## 4. Agrégation d'agents hétérogènes

$$d(t) = \underbrace{F(p(t) - v(t))}_{\text{fondamental}} + \underbrace{G(m(t))}_{\text{trend}} + \underbrace{\lambda \chi \dot{v}(t)}_{\text{news}} + \underbrace{\eta(t)}_{\text{noise}}$$

$$\delta := p - v \quad F(\delta) = -\bar{a}\delta - \bar{c}\delta^3 \quad G(m) = gm$$

« Distorsion de prix »

$$\delta := p - v \quad F(\delta) = -\bar{a}\delta - \bar{c}\delta^3 \quad G(m) = gm$$

$$g = 0, \quad \bar{a} > 0, \quad \bar{c} = 0 \quad \rightarrow$$

$$\frac{d\delta}{dt} = -\frac{\bar{a}}{\lambda}\delta + (\chi - 1)\dot{v} + \frac{\eta}{\lambda}$$

$\bar{a}$  : paramètre d'ancrage à la valeur fondamentale

$$\begin{cases} \chi > 1 & \text{over-reaction} \\ \chi < 1 & \text{under-reaction} \end{cases}$$

## 5. Dynamique linéarisée

Distorsion de prix :

$$t \gg \frac{\lambda}{\bar{a}} \longrightarrow \mathbb{E}[\delta^2] = \frac{1}{2\bar{a}} \left[ \lambda \mathbb{E}[(\chi - 1)^2] \sigma_v^2 + \frac{\sigma_\eta^2}{\lambda} \right]$$

Volatilité en excès :

$$t \ll \frac{\lambda}{\bar{a}} \longrightarrow \sigma^2 = (1 + \mathbb{E}[(\chi - 1)^2]) \sigma_v^2 + \frac{\sigma_\eta^2}{\lambda^2}$$

➤ Marchés efficients :  $\lambda/\bar{a}$  petit,  $\chi$  proche de 1,  $\sigma_\eta^2 \sim \mathbf{N}^{-1} \rightarrow p \approx v$

➤ Marchés réels :  $\lambda/\bar{a} \sim 5$  ans,  $\sigma \sim 2 - 5 \sigma_v \rightarrow$  faible ancrage aux fondamentaux

$$\delta := p - v \quad F(\delta) = -\bar{a}\delta - \bar{c}\delta^3 \quad G(m) = gm$$

$$\lambda \frac{d\delta}{dt} = -\bar{a}\delta - \bar{c}\delta^3 + g \int_{-\infty}^t dt' \dot{\delta}(t') e^{-\Gamma(t-t')} + \lambda(\chi - 1)\dot{v} + \eta$$

Chiarella 1992

Brock & Hommes 1998

Lux & Marchesi 2000

Majewski, Ciliberti, JPB 2018

$$\begin{cases} \chi > 1 & \text{over-reaction} \\ \chi < 1 & \text{under-reaction} \end{cases}$$

## 5. L'oscillateur de Duffing-Van der Pol

$$\lambda \frac{d^2\delta}{dt^2} = -\Gamma(\bar{a}\delta + \bar{c}\delta^3) - \frac{d\delta}{dt} [\bar{a} + \Gamma\lambda - g + 3\bar{c}\delta^2] + \Xi(t)$$

$$\Xi = \left( \Gamma + \frac{d}{dt} \right) [\lambda(\chi - 1)\dot{v} + \eta]$$

➤ Forme réduite :  $\frac{d^2\delta}{dt^2} + [\beta + \delta^2] \frac{d\delta}{dt} + \alpha\delta + \delta^3 = \Xi(t)$

$$\alpha = \frac{9}{\Gamma\lambda}\bar{a}; \quad \beta = \frac{3}{\Gamma\lambda}[\bar{a} + \Gamma\lambda - g]$$

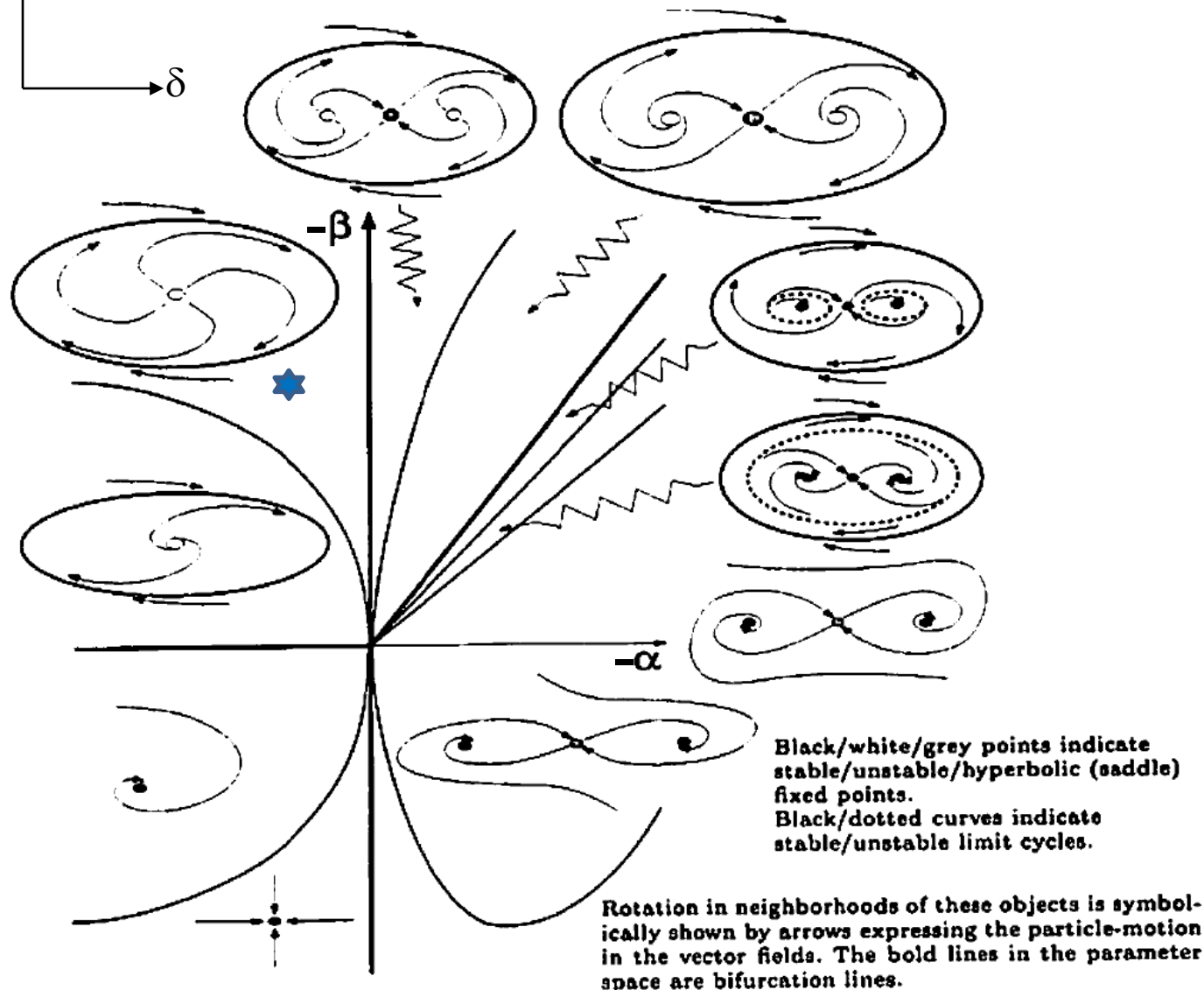
$$\frac{d^2\delta}{dt^2} + [\beta + \delta^2] \frac{d\delta}{dt} + \alpha\delta + \delta^3 = \Xi(t)$$

$$\alpha = \frac{9}{\Gamma\lambda} \bar{a}; \quad \beta = \frac{3}{\Gamma\lambda} [\bar{a} + \Gamma\lambda - g]$$

## 5. L'oscillateur de Duffing-Van der Pol

- $\alpha > 0$  : force de rappel vers la valeur fondamentale
- $\alpha < 0$  : « effet Veblen » (je veux un bien *parce qu'il* est cher) ou moutonnier (s'il est cher, c'est qu'il doit y avoir une raison qui m'échappe) - stabilisé par le terme en  $\delta^3$
- $\beta > 0$  : effet de « trend » faible (g petit) → friction positive
- $\beta < 0$  : g fort → friction négative, stabilisée par le terme  $\delta^2$

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} + [\beta + \delta^2] \frac{d\delta}{dt} + \alpha\delta + \delta^3 = \Xi(t)$$



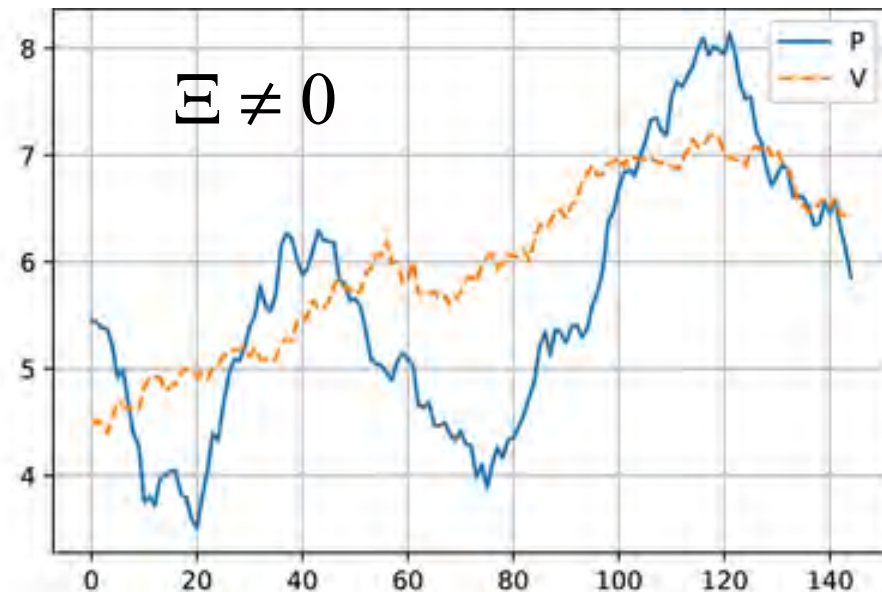
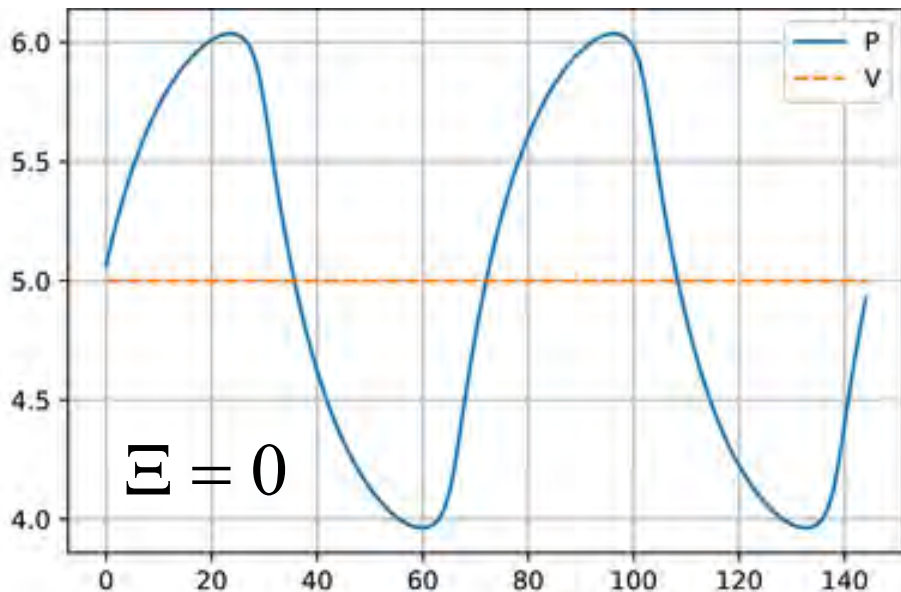
Un modèle riche !

Holmes, Rand 1980  
 Schenck-Hoppé 1996

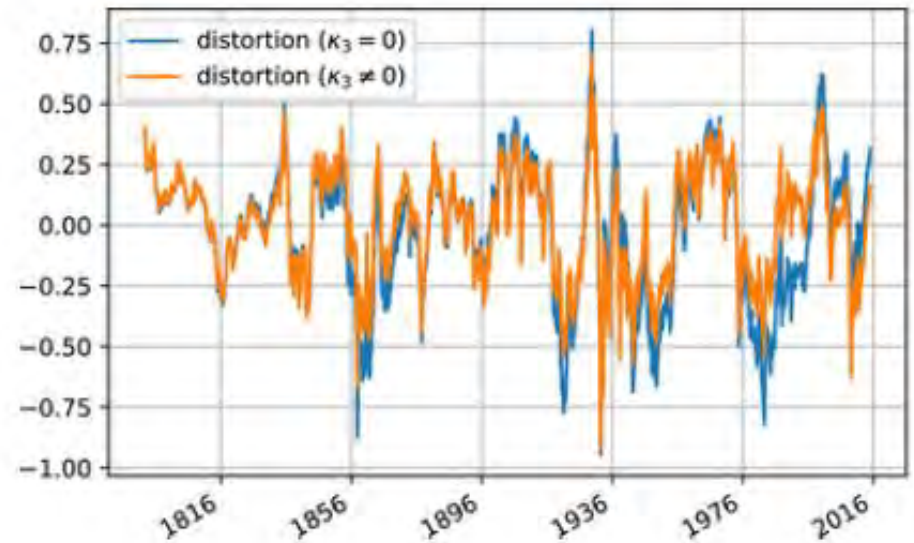
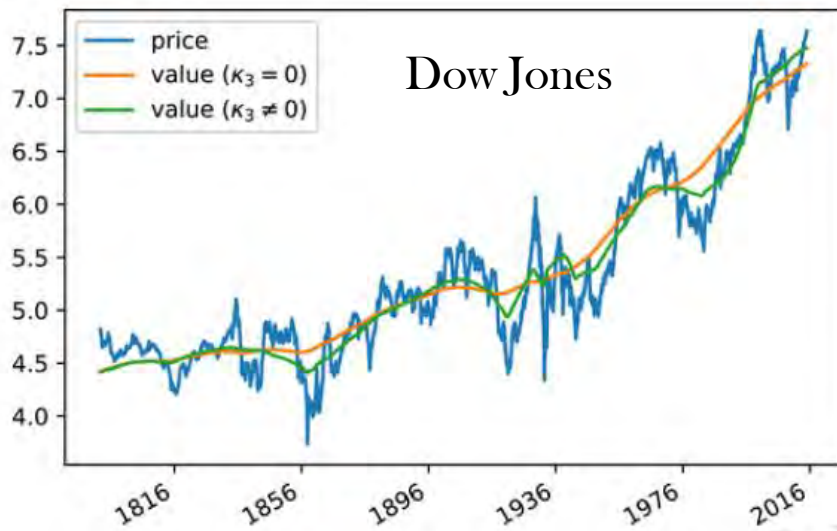
$$\frac{d^2\delta}{dt^2} + [\beta + \delta^2] \frac{d\delta}{dt} + \alpha\delta + \delta^3 = \Xi(t)$$

★ ➤  $\alpha > 0, \beta < 0$

## 5. Régime oscillant

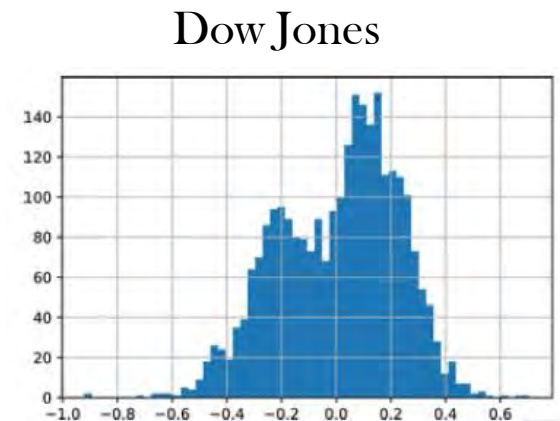




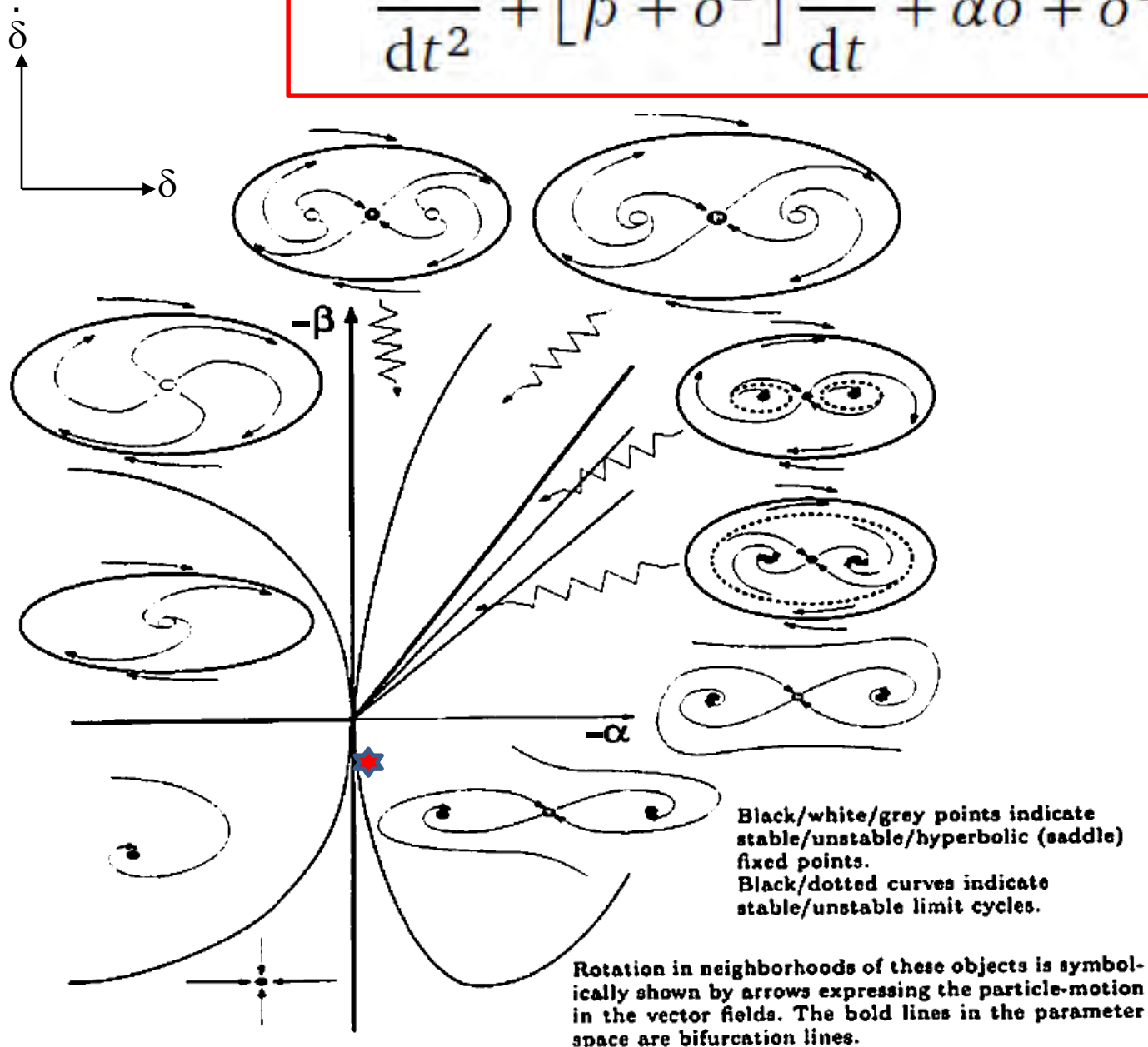


## 6. Calibration

- Calibration sur indices boursiers:
  - Permet de déduire le  $v(t)$  le plus probable
  - $\alpha$  légèrement négatif - peu d'ancrage à  $v$  !
  - $\beta$  positif mais faible
  - Variance de  $\delta \rightarrow$  prix  $\sim [(1.6)^{-1}, 1.6]$  valeur
  - Bimodalité de la distribution de  $\delta$  (?)

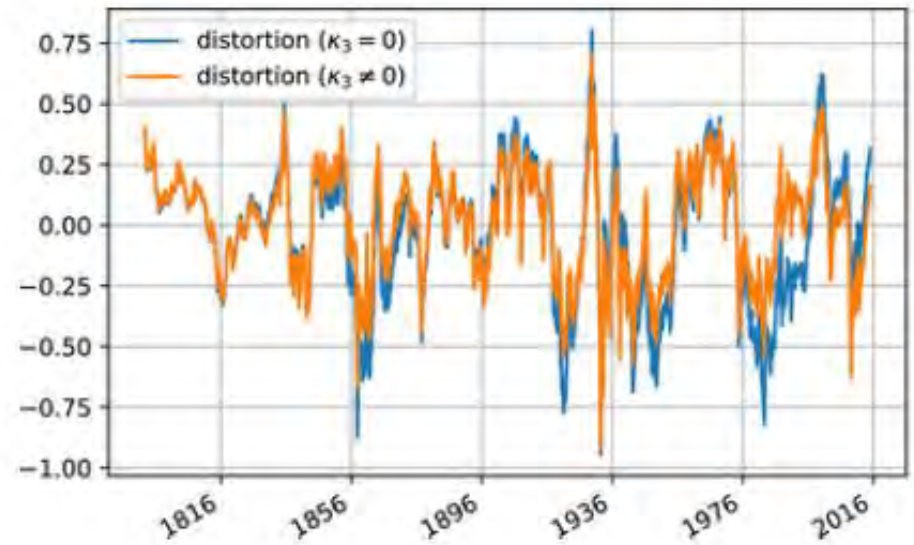
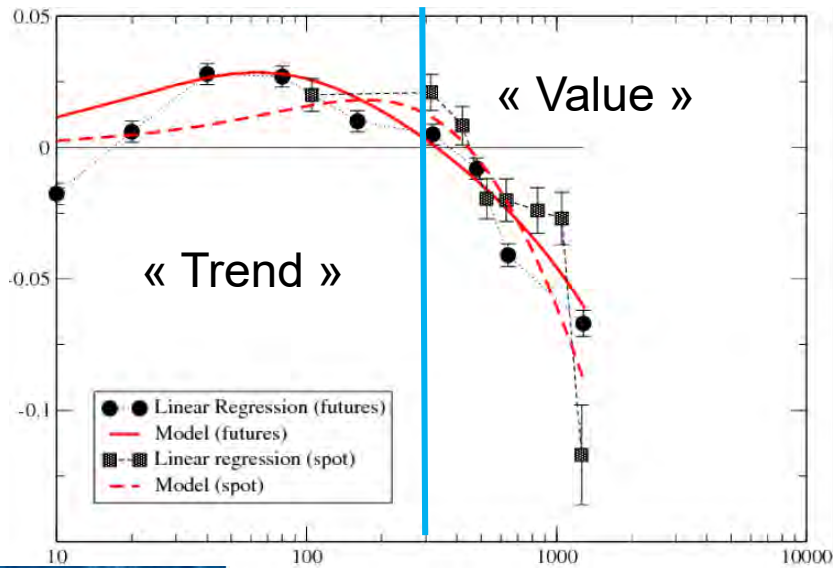


$$\frac{d^2\delta}{dt^2} + [\beta + \delta^2] \frac{d\delta}{dt} + \alpha\delta + \delta^3 = \Xi(t)$$



Un modèle riche !

Holmes, Rand 1980  
Schenck-Hoppé 1996



## 6. La conjecture de Fisher Black (*Noise*, 1985)

*“We might define an efficient market as one in which price is within a factor 2 of value [...]”*

**2=1.6!**

*“The factor of 2 is arbitrary, of course. Intuitively, though, it seems reasonable to me, in the light of sources of uncertainty about value and the strength of the forces tending to cause price to return to value. By this definition, I think almost all markets are efficient almost all of the time.”*

$$d(t) = \underbrace{F(p(t) - v(t))}_{\text{fondamental}} + \underbrace{G(m(t))}_{\text{trend}} + \underbrace{\lambda \chi \dot{v}(t)}_{\text{news}} + \underbrace{\eta(t)}_{\text{noise}}$$

## 7. Extensions

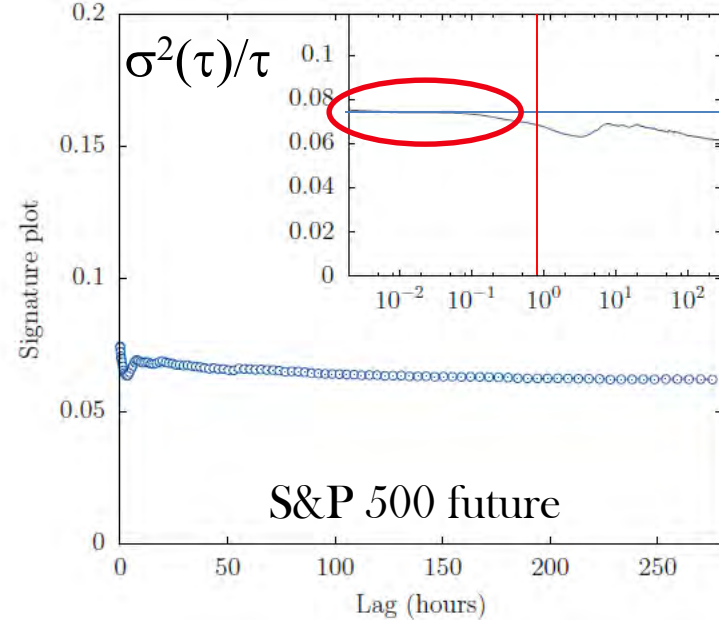
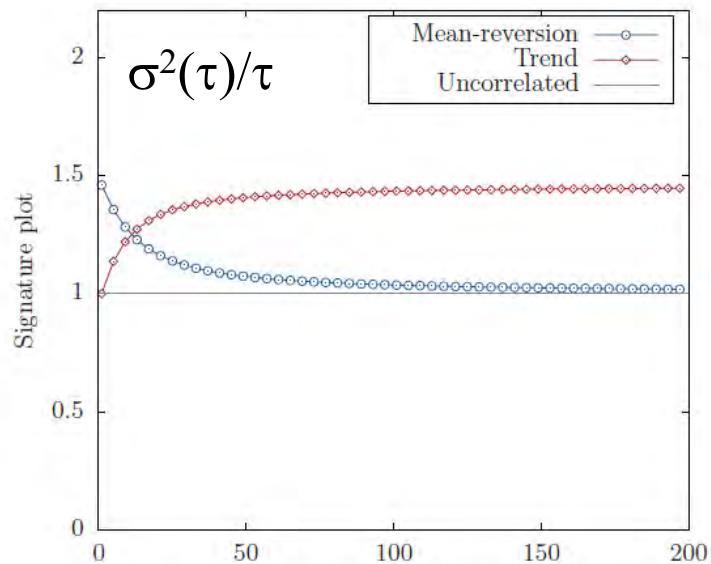
- Latence (« stickyness »): une autre source de persistance

$$\dot{v}(t) \longrightarrow \Gamma' \int_{-\infty}^t dt' \dot{v}(t') e^{-\Gamma'(t-t')}$$

- Confirmation directe sur les prévisions des analystes financiers : les révisions sont auto-corrélées  $\rightarrow 1/\Gamma' \sim 6$  mois

(JPB, P. Kruger, A. Landier, D. Thesmar, 2018)

- Asymétrie, panique et krachs (JPB, R Cont, 1998)



## 7. Conclusion: Les marchés sont-ils efficaces?

- **Point de vue classique (« Fama »)**: les prix reflètent la valeur fondamentale, et ne changent que lors de nouvelles imprévisibles
- Les prix sont approximativement des marches aléatoires, comme constaté empiriquement, même (surtout!) à temps courts (cours 3)
- Le « bruit » est faible et/ou se corrige très rapidement – fort ancrage à la valeur objective
- Marchés fondamentalement stables et équitables

Under the trading noise hypothesis, stock returns should be serially correlated. It is difficult to characterize short-run autocorrelations without a specific mispricing model. However, unless market prices are unrelated to the objective economic value of the stock, pricing errors must be corrected in the long run. These corrections would generate negative autocorrelations.

French & Roll 1986

## 7. Conclusion: Les marchés sont-ils efficaces?

- **Point de vue alternatif (« Shiller/Black »)**: les prix évoluent au gré de transactions majoritairement non-informées en restant quasi-diffusif (cours 3)
- Volatilité en excès et variations de prix « super-diffusives » à moyen terme
- Les prix ne sont que faiblement couplés à la « valeur objective » (Black: facteur 2) et n'y reviennent qu'à très long terme (5 ans) – et Bitcoin?
- Modélisation en termes d'agents: un cadre phénoménologique riche, qui formalise et quantifie ces observations
- Découplage prix/valeur → volatilité endogène, dynamique (quasi) universelle

## Pour aller plus loin

- Références: voir page d'accueil du cours
- Séminaire: Cars Hommes

**Behavioral & Experimental Macroeconomics and  
Policy Analysis: A Complex Systems Approach**