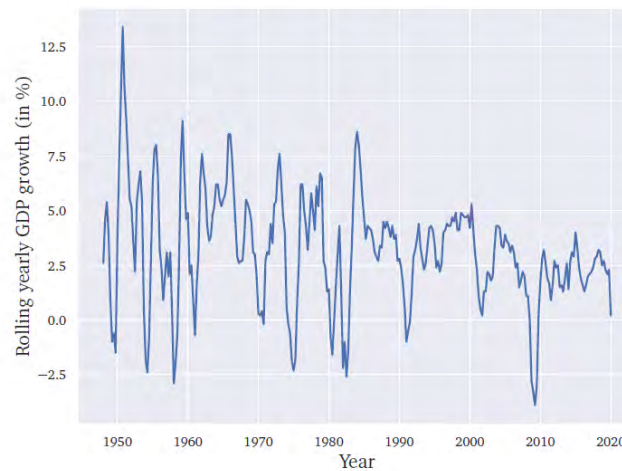


DE LA PHYSIQUE STATISTIQUE
AUX SCIENCES SOCIALES

V. « EQUILIBRE GENERAL » vs.
« MODELES D'AGENTS »

Chaire de l'Innovation L. Bettencourt

Jean-Philippe Bouchaud



US GDP Growth

1. Un modèle simple d'équilibre macroéconomique

- Objectif: comprendre/contrôler cycles économiques et inflation
- Embryon des modèles Dynamical Stochastic General Eq. (DSGE)
- 3 types d'acteurs:
 - Les ménages, remplacés par un ménage « représentatif »
 - Les entreprises, remplacées par une entreprise « représentative »
 - Une banque centrale, qui fixe le taux d'intérêt rétribuant l'épargne

1. Un modèle simple d'équilibre macroéconomique

- 3 types de contraintes:
 - Le ménage représentatif optimise son « utilité » (+ consommation - travail) en anticipant le futur et en respectant son budget
 - L'entreprise utilise capital + main-d'œuvre et maximise son profit
 - Production et consommation s'équilibrent (« market clearing »)
- La banque centrale fixe le taux d'intérêt pour contrôler l'inflation et/ou le chômage

$$U(C_t, N_t) = f \frac{(C_t)^{1-\zeta}}{1-\zeta} - \gamma \frac{(N_t)^{1+\phi}}{1+\phi}$$

$$\max_{\{C, N\}} \mathbb{E}_t \left[\sum_{t' \geq t} e^{-\rho(t-t')} U(C_{t'}, N_{t'}) \right]$$

$$P_t C_t + e^{-i_t} B_t \leq W_t N_t + B_{t-1} + d_t$$

1. Un modèle simple d'équilibre macroéconomique

- Le ménage représentatif optimise son « utilité » (+ consommation - travail) en anticipant le futur et en respectant son budget
- Note : l'optimisation inter-temporelle conduit à « lisser » sa consommation, en la modulant par la différence entre inflation et taux d'intérêt (« Equation d'Euler »)

$$Y_t = z_t(N_t)^{1-\alpha}$$

$$\mathcal{P}_t = Y_t P_t - W_t N_t$$

$$Y_t = C_t$$

1. Un modèle simple d'équilibre macroéconomique

- L'entreprise maximise son profit, à prix P et salaires W fixés, pour une certaine fonction de production $Y(N, \dots)$
- z : productivité dépendant du temps (« chocs technologiques »)
- Production et consommation s'équilibrent

$$i_t = \rho + \varphi \pi_t; \quad \pi_t = \log\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

1. Un modèle simple d'équilibre macroéconomique

- La banque centrale fixe le taux d'intérêt pour contrôler l'inflation (et/ou le chômage) : la règle de Taylor
- Principe de Taylor: pour maîtriser l'inflation, il faut fixer $\varphi > 1$



2. Fluctuations autour de l'équilibre

$$i = \rho; \quad \omega = \frac{W}{P}$$

$$C^{\varsigma} N^{\phi} = \frac{f \omega}{\gamma}$$

$$Y = C = z_0 N^{1-\alpha}$$

$$\mathcal{P}_{\max} \rightarrow (1 - \alpha) z_0 N^{-\alpha} = \omega$$

2. Fluctuations autour de l'équilibre

- Pour $z=z_0$ fixé, un équilibre compétitif unique pour C, N, W & P
- Supposons (Cf J. Gali, Monetary Policy, Inflation & Business Cycle)
 - De « petits » chocs sur $z = z_0 \exp(\xi)$, $\xi \ll 1 \rightarrow$ petites fluctuations
 - Un nouvel équilibre immédiatement atteint \rightarrow équations (dont Euler) qui fixent les fluctuations de production et l'inflation :

$$\mathbb{E}_t[\pi_{t+1}] = \varphi \pi_t + A \mathbb{E}_t[\xi_t - \xi_{t+1}]; \quad (A > 0)$$

- Note : « small shocks, small (exogeneous) business cycle »



$$\mathbb{E}_t[\pi_{t+1}] = \varphi \pi_t + A \mathbb{E}_t[\xi_t - \xi_{t+1}]; \quad (A > 0)$$

$$\begin{cases} \pi_t = \sum_{k=0}^{\infty} \varphi^{-k} (\eta_{t-k} + A \mathbb{E}_{t-k-1}[\xi_{t-k-1} - \xi_{t-k}]); & \mathbb{E}_{t-k-1}[\eta_{t-k}] = 0, & (\varphi < 1) \\ \pi_t = \sum_{k=0}^{\infty} \varphi^{-k-1} A \mathbb{E}_t[\xi_{t+k+1} - \xi_{t+k}]; & & (\varphi > 1) \end{cases}$$

2. Fluctuations autour de l'équilibre

- Pour $\varphi < 1$, l'inflation dépend du passé et d'un bruit η non déterminé par les variables fondamentales (« équilibres multiples » ou « sunspots »)
- Pour $\varphi > 1$, il existe une solution non divergente qui ne dépend que des anticipations des futurs chocs de productivité
- Problème (ou solution?) : tout écart à la solution « déterminée » explose exponentiellement quand $\varphi > 1$ et est « donc » éliminé

$$\pi_t = \sum_{k=0}^{\infty} \varphi^{-k-1} \text{AIE}_t [\xi_{t+k+1} - \xi_{t+k}]$$

2. Puissance des anticipations rationnelles

- $\varphi > 1$: inflation « ancrée » aux fondamentaux par les anticipations
- Cf J. Gali (Monetary Policy, Inflation & Business Cycle)

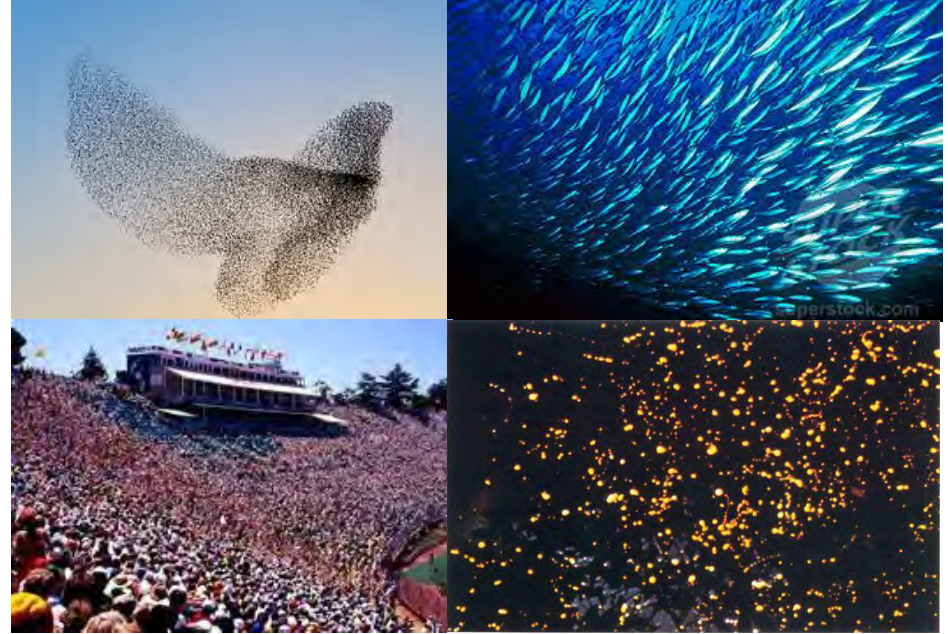
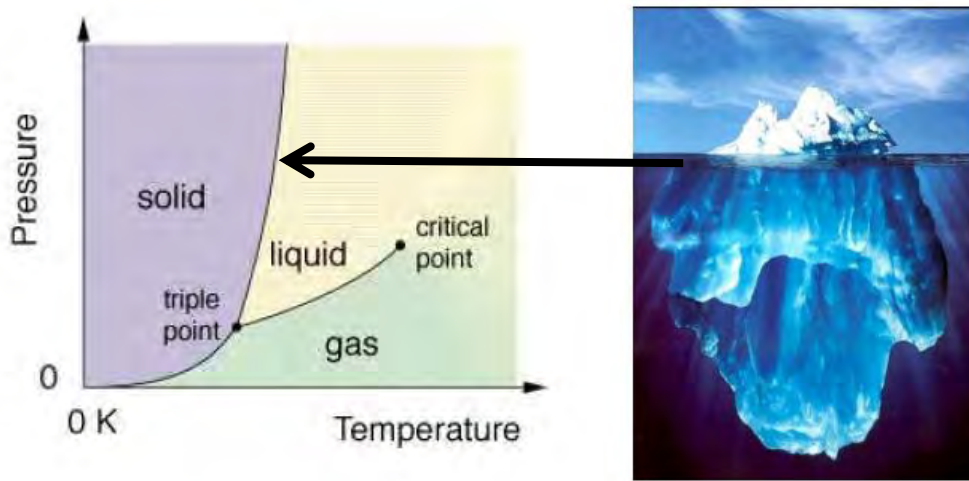
The monetary authority should respond to deviations of inflation and the output gap from their target levels by adjusting the nominal rate with “sufficient strength”; [...] it is the presence of a “threat” of a strong response by the monetary authority to an eventual deviation of the output gap and inflation from target that suffices to rule out any such deviation in equilibrium.



3. « More is different »

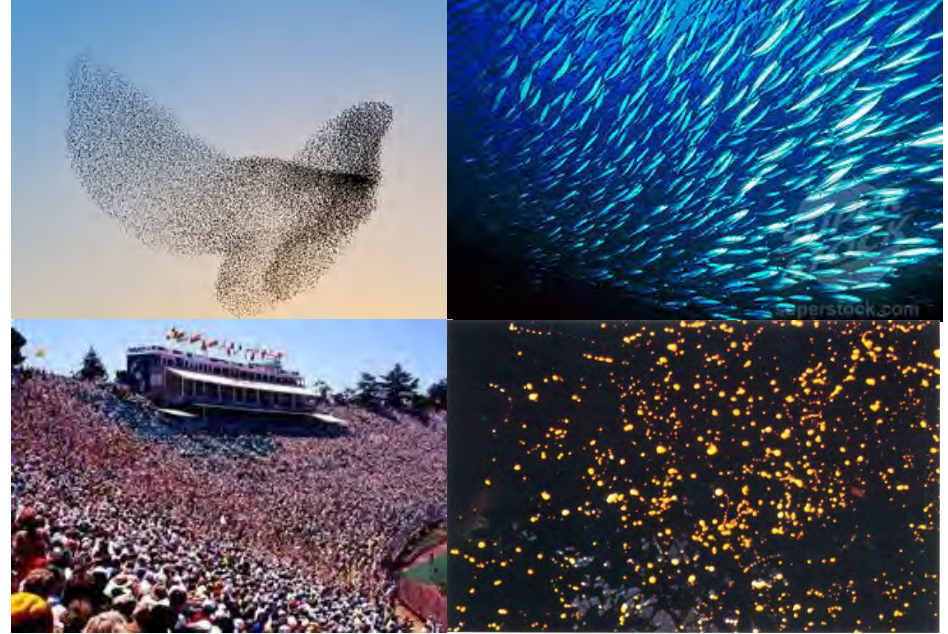
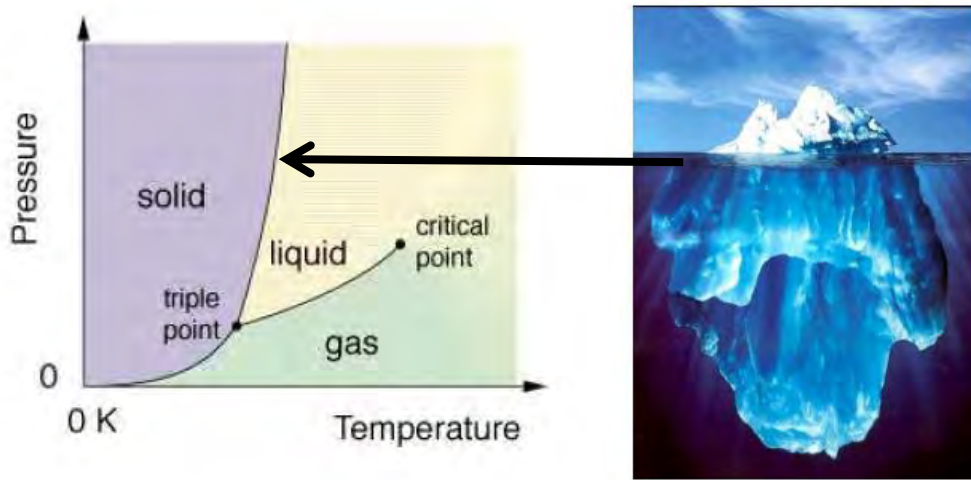
*The behavior of large assemblies of **interacting** individuals (particles) cannot be understood as a simple extrapolation of the properties of isolated individuals (particles). Instead, entirely new, unanticipated behaviors may appear and their understanding requires new ideas and methods.*

Phil Anderson, « More is different », Science 1972



3. « More is different »

- Du microscopique au macroscopique
 - Agents sans interactions, sans hétérogénéités fortes → agrégation triviale (cf. gaz parfaits)
 - Interactions et/ou fortes hétérogénéités → surprises micro/macro
- Effets collectifs émergents
 - Magnétisme, supraconductivité, rigidité, ... nuées d'oiseaux, « Ola », etc.
 - Paniques, retournements d'opinion, crises ?
 - Agents rationnels/irrationnels → Collectif irrationnel/rationnel



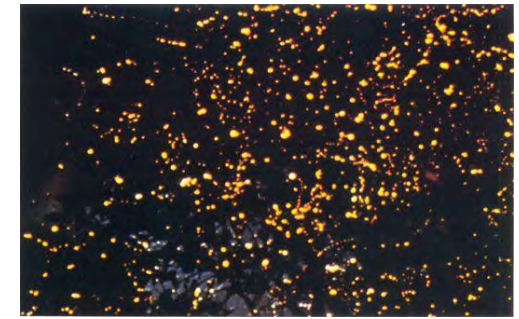
3. « More is different »

➤ Transitions et diagramme de phase

- Mêmes atomes (agents), différents comportements macro
- Loin des transitions de phase: comportement « structurellement stable », seuls quelques paramètres microscopiques survivent à l'agrégation (cf. TLC, Navier-Stokes, ...) → modélisation possible
- Proche des transitions: discontinuités, amplification anormale des fluctuations (possiblement: lois de puissance, scaling)

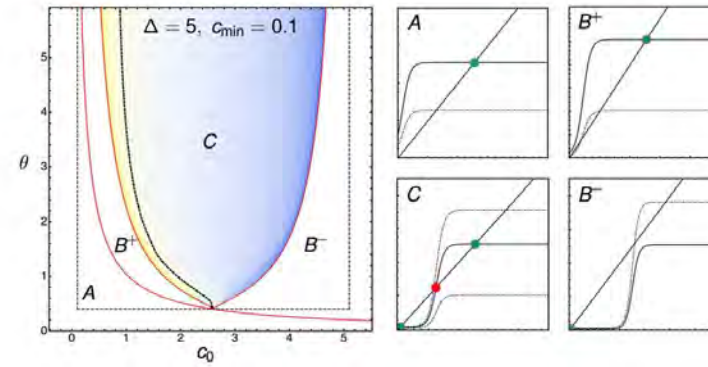
*“For 300 years, Western travellers to Southeast Asia had been returning with tales of enormous congregations of fireflies blinking on and off in unison, in displays that stretched for miles along the riverbanks. How could thousands of fireflies orchestrate their flashing so precisely and on such vast scales? For decades, no one could come up with a plausible theory. A few believed there must be **a maestro**, a firefly that cues all the rest. Only by the late 60’s did the pieces of the puzzle begin to fall into place...”*

S. H. Strogatz, SYNC: The Emerging Science of Spontaneous Order (Hyperion, New York, 2003).



3. « More is different »

- Synchronisation: un effet émergent universel (seuil + interaction)
- Lucioles
- Neurones
- Crises (bancaires, financières, etc.)
- Cf. ABM plus bas



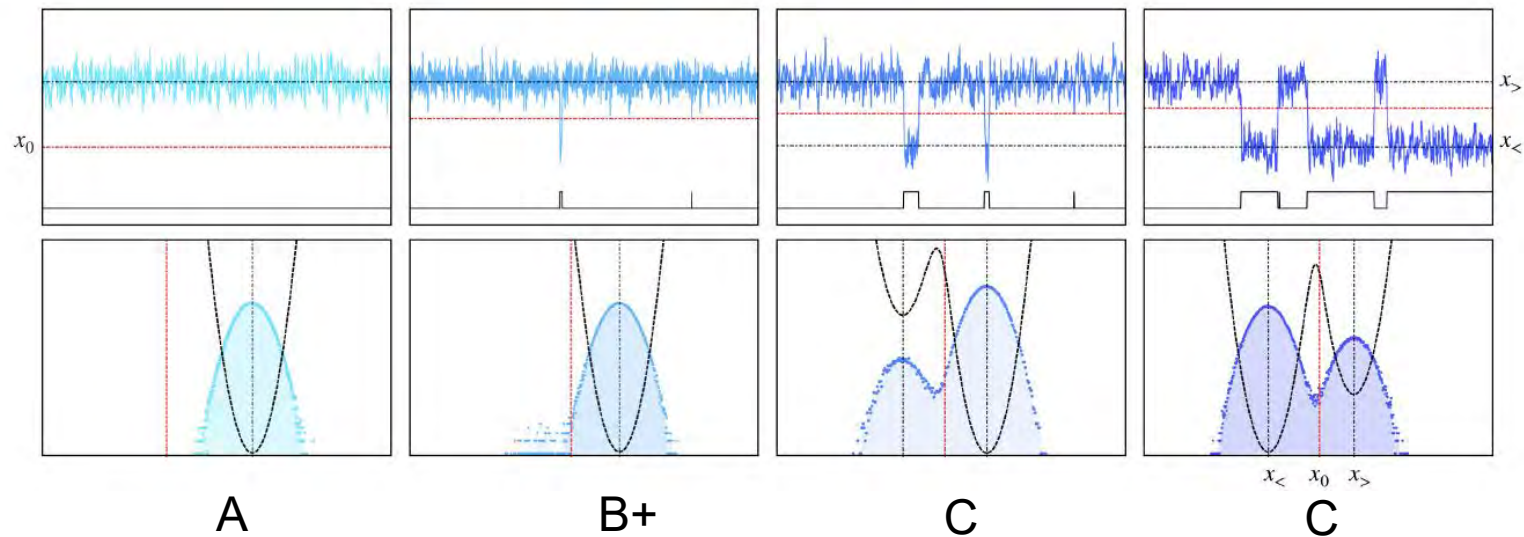
4. Equilibres multiples au sein du cadre « classique »

$$U_i(c_t^i, n_t^i) = f_t^i \frac{(c_t^i)^{1-\zeta}}{1-\zeta} - \gamma \frac{(n_t^i)^{1+\phi}}{1+\phi},$$

$$f_t^i = F \left(K^{-1} \sum_{j=1}^K c_{t-1}^j \right) \xrightarrow{K \rightarrow \infty} F(C_{t-1})$$

4. Equilibres multiples au sein du cadre « classique »

- Même cadre théorique d'équilibre général mais avec :
 - Individuation des agents
 - Couplage à la consommation passée du voisinage social, pris comme indicateur de confiance
 - Limite de champ moyen \rightarrow « Agent représentatif » non trivial
 - $F(C)$ sigmoïdal, interpolant entre « pessimisme » et « optimisme »
 - Cf. P. de Grauwe : pour une macroéconomie comportementaliste



4. Equilibres multiples dans un modèle « classique »

- Plusieurs phases possibles
 - Un équilibre unique classique + amplification de la volatilité
 - Deux équilibres stables avec transitions induites par une accumulation malheureuse de petites fluctuations (cf. « activation thermique ») : $\tau \sim \exp(\Delta/\sigma^2)$
- Crises endogènes, induites par une chute de confiance autoentretenu (et une croissance par une hausse de confiance)

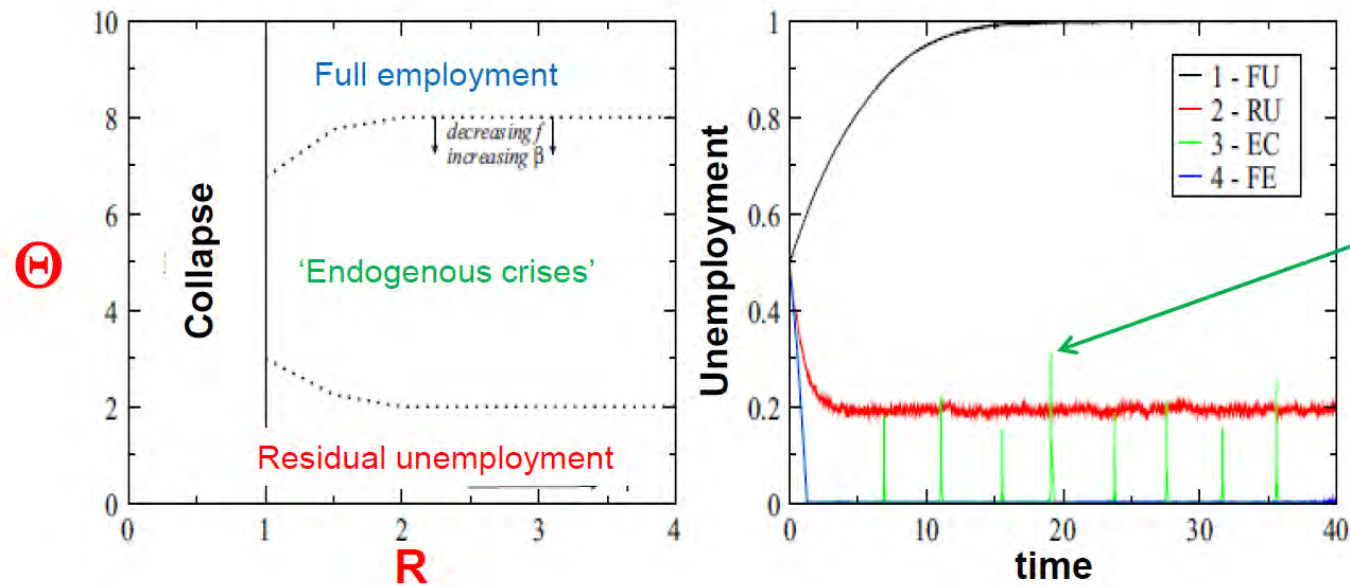
Done properly, computer simulation represents a kind of “telescope for the mind,” multiplying human powers of analysis and insight just as a telescope does our powers of vision. With simulations, we can discover relationships that the unaided human mind, or even the human mind aided with the best mathematical analysis, would never grasp.

Mark Buchanan, “This Economy Does Not Compute”, NYT, October 2008

5. Modèles d’Agents et Macroéconomie Comportementale

5. Modèles d'Agents et Macroéconomie Comportementale

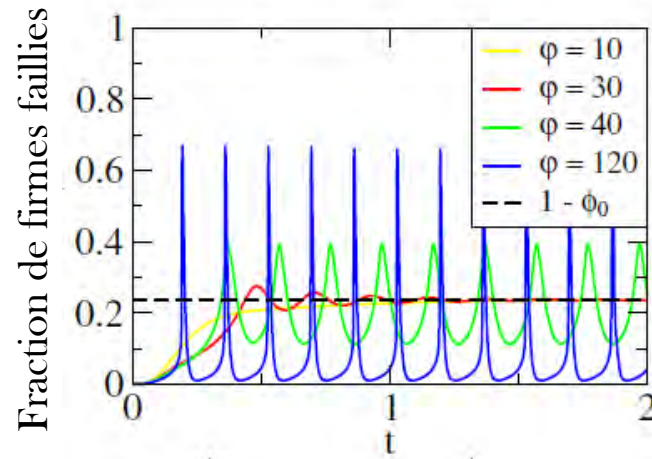
- ABM : Agents hétérogènes, utilisant des heuristiques plausibles (rationalité « limitée ») → nombreux modèles, dont « Mark 0 »
- Ménages : demande $D = c \times \text{épargne}$ (avec $c=f(\pi - i)$)
- Entreprises : ajustent leur production = $z \times \text{main-d'œuvre}$, salaires et prix p/r à la différence constatée entre offre Y et demande D
R : ratio de la vitesse d'ajustement à la hausse et à la baisse de Y
- Faillites : quand dette/chiffre d'affaire $> \text{H}$ + remplacement, taux φ



Surprise: crises endogènes, sans chocs exogènes

5. Modèles d'Agents: Diagramme des phases

- Un diagramme de phases riche, et robuste par rapport à de nombreux choix de modélisation « microscopique »
- **R** : effondrement si les firmes sur-réagissent à une baisse de D
- **⊕** : chômage résiduel si Θ trop faible, crises endogènes si Θ intermédiaire, plein emploi à haut Θ
- Plusieurs équilibres émergents pour les mêmes « fondamentaux »
- Coexistence de phases (pour les mêmes paramètres)



6. Crises Endogènes et Synchronisation

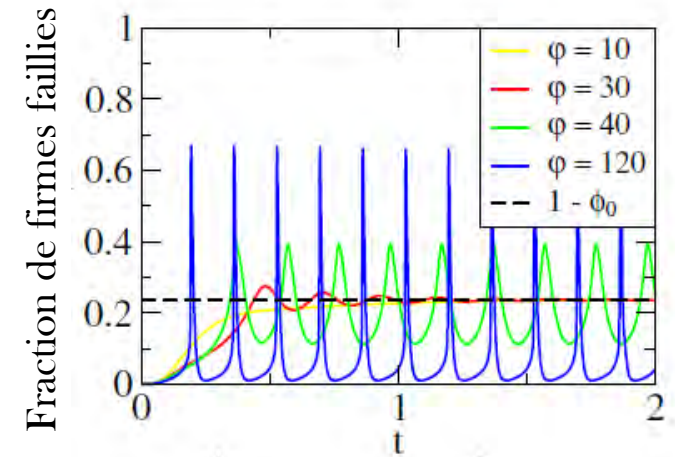
$$\dot{P}(x, t) = DP''(x, t) + V(t)P'(x, t) + J(t)\delta(x - \Theta)$$

$$V(t) = b + \beta DP'(0, t)\Theta$$

x: capitaux propres

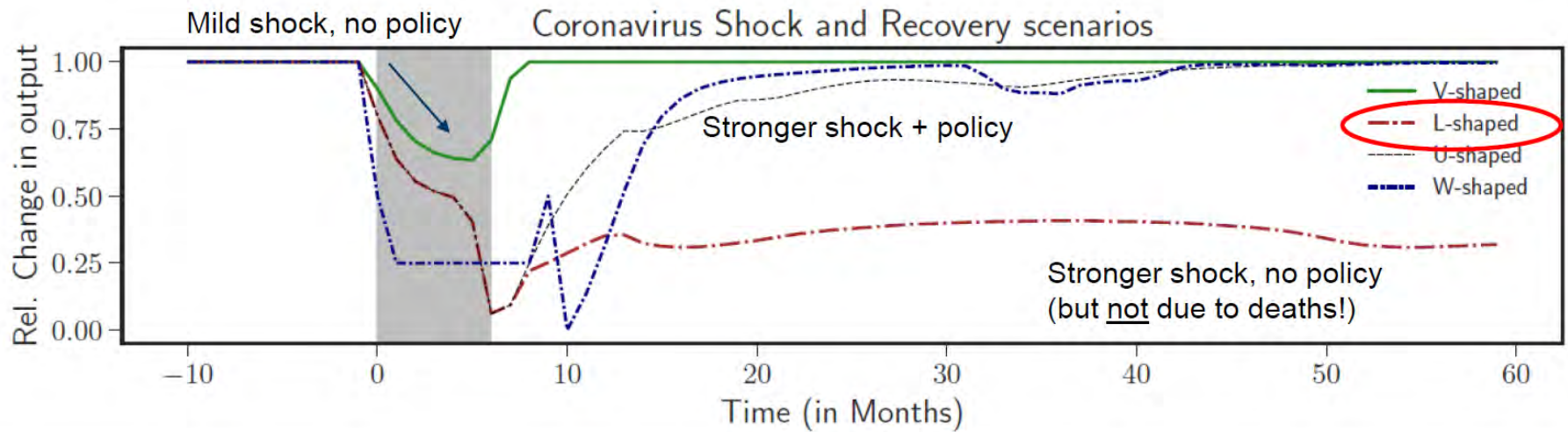
x=0: faillite

Boucle de rétroaction

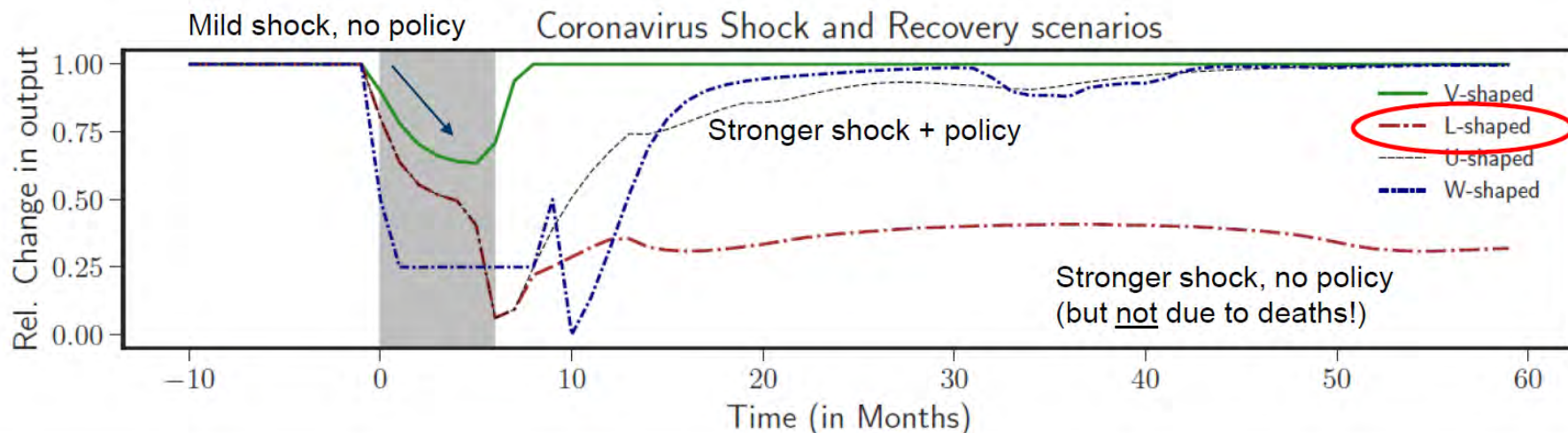


6. Crises Endogènes et Synchronisation

- Mécanisme de crise dans le modèle: faillite → augmentation du chômage et baisse de la consommation → fragilisation des autres firmes → autres faillites qui se synchronisent
- Un modèle simple (marche aléatoire 1d) du modèle Mark0, qui se résout analytiquement et conduit à une transition de synchronisation - cf. modèle de Kuramoto (neurones, lucioles...)
- Mécanisme universel (absent de DSGE): formation de caustiques

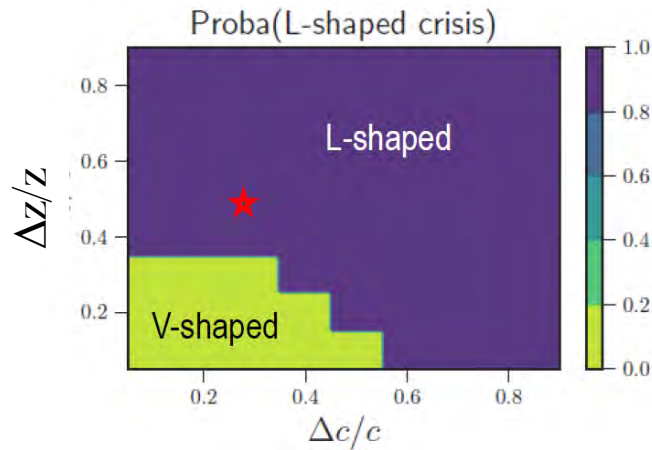


7. Une application récente : la crise COVID

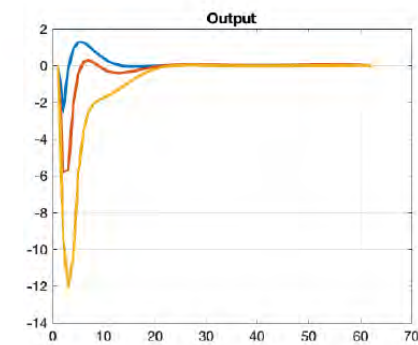
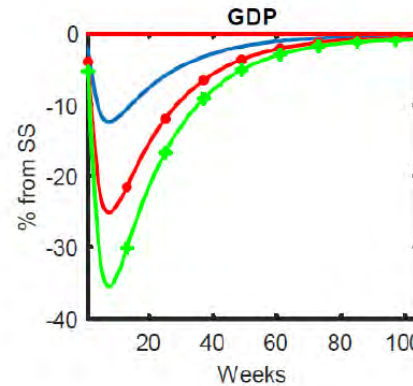


7. Une application récente : la crise COVID

- Condition initiale : économie prospère, inflation basse, firmes peu endettées ($\ominus/3$)
- Choc COVID : à la fois sur l'offre et sur la demande $-\Delta c$ et $-\Delta z$ pendant un temps T
- Phénoménologie variée : reprise économique en V, L, U, W,...
- Une ligne de basculement discontinu dans le plan $\Delta c, \Delta z$



MARK 0



DSGE + COVID

7. L'importance des équilibres multiples

- Transition discontinue entre reprise en V et reprise en L
- Les modèles classiques, eux, conduisent à un retour vers l'équilibre unique
- Discussion au sein du modèle de plusieurs politiques de soutien possibles, pour éviter le « L »
- ABM : Générateurs de scénarios possibles, parfois difficile à imaginer, et hors de portée des modèles DSGE classiques

Models failed to predict the crisis and seemed incapable of explaining what was happening [...] in the face of the crisis, we felt abandoned by conventional tools (JC Trichet, 2010)

The 2008 crisis was not predicted because economic theory predicts that such events cannot be predicted (R Lucas, 2009)

The economic crisis is a crisis for economic theory (Kirman, 2010)

8. Conclusion

- DSGE : agents rationnels + suite d'équilibres immédiatement atteints → chocs exogènes, linéarisés autour d'un équilibre unique
- DSGE + : « frictions », agents hétérogènes (HANK)
- DSGE ++ : rétroactions, équilibres multiples, crises « activées »
- Problème : en combien de temps peut-on supposer l'équilibre atteint ? → version hors-équilibre, dynamique nécessaire, avec déséquilibre offre/demande, pertes, etc. (cf. 7)

Models failed to predict the crisis and seemed incapable of explaining what was happening [...] in the face of the crisis, we felt abandoned by conventional tools (JC Trichet, 2010)

The 2008 crisis was not predicted because economic theory predicts that such events cannot be predicted (R Lucas, 2009)

The economic crisis is a crisis for economic theory (Kirman, 2010)

8. Conclusion

- **ABM** : heuristiques plausibles → une phénoménologie très riche
- Transitions de phases, émergence, points de basculement
- Crises endogènes, synchronisation
- Générateurs de scénarii, catalyseurs d'imagination
- Peut-être un jour : **ABM** quantitatifs, calibrés sur des micro-données ?
- Convergence **ABM/DSGE** ?

Pour aller plus loin

- Références: voir page d'accueil du cours
- Séminaire: Paul de Grauwe
Behavioural Macroeconomics: A New Paradigm
- Voir aussi: Irene Giardina - Collective animal behaviour (cours 6)