

Les notions de système et de  
modèle  
(aspects épistémologiques et

Daniel Parrochia

Université Jean-Moulin - Lyon III

# Plan de l'exposé

- Quelques remarques étymologiques et philosophiques sur la notion de «système»
- La notion de modèle dans les sciences physiques
- Sur quelques problèmes de la pratique des modèles
- Sur quelques modèles connus en économie
- Conclusion

I

# La notion de système

# Origine de la notion de «système»

- Le mot *systeme* (Heidegger, 1977) vient du grec « sustèma », de sun-istémi, je com-pose.
- Dès l'origine, deux aspects fondamentaux :
  - Réelle disposition ordonnée chez les physiciens et les militaires :
    - Du corps : *sustèma tou somatou*, disposition des organes dans un être vivant
    - Du monde : *sustèma tou kosmou* (arrangement de l'univers)
    - Des troupes au combat : *to tès phalanggos sustèma*, système de la phalange
  - Simple juxtaposition, amoncellement ou amas, chez les médecins
    - Engorgement du sang ou des humeurs
- Dans les deux cas, le système est *matériel*.

# Evolution de la notion vers un sens théorique

- C'est par l'intermédiaire de l'astronomie que la notion va s'introduire dans le domaine de la connaissance (Gusdorf, 1971)
- La rupture intervient en 1632, date où Galilée publie son *Dialogue sur les deux principaux systèmes du monde*.
- Le mot prend alors délibérément le sens de «théorie».
- Pourquoi?

# Une explication possible

- «C'est le moment où le mot prend un sens analogique, pour s'appliquer à certaines procédures de pensée qui visent à constituer un ensemble fermé de notions, aussi rigoureusement liées entre elles que les corps célestes constituant le cosmos. L'idée se fait jour que le penseur procède à un arrangement général de l'espace mental, dont l'économie évoque celle des astres».

G. Gusdorf, *Les Principes de la Pensée au siècle des lumières*, Payot, 1971, p. 257-258.

# Suite philosophique

- La philosophie, dès lors, s'empare du mot.
- «Système» vient peu à peu à signifier une approche particulière d'un certain sujet, une théorie précise, une doctrine le concernant, et ayant pris la forme d'un complexe organisé d'hypothèses, d'un nœud de raisons (nexus rationum) ou de vérités.
- Ni Descartes ni Spinoza ne désignent pourtant leur œuvre par ce mot, mais leurs successeurs (Malebranche, Leibniz, Condillac, Kant, Hegel) l'emploieront couramment, parfois même dans le titre de leurs ouvrages.

# Quelques exemples d'usages philosophiques du mot

- Malebranche (, *De la Recherche de la Vérité*, tome I, 2e livre, chap. VII : «Des inventeurs de nouveaux systèmes et de l'imagination qui les caractérise» (1674-75)
- Leibniz, *Système nouveau de la nature et de la communication des substances* (1695)
- Condillac, *Traité des systèmes* (1749)
- Kant, *Critique de la Raison Pure* (1781)
- Hegel, *Différence des systèmes de Fichte et de Schelling* (1801).

# Originalité des théoriciens post-cartésiens

- Ils construisent leurs théories sur les systèmes qu'ils ont sous les yeux (les systèmes du 17<sup>e</sup> s.)
- Ils opposent à ces systèmes leur propre système
  - Pour Condillac, la philosophie de Locke et le modèle newtonien d'une philosophie naturelle
  - Pour Kant, la conception d'une architectonique de la raison pure où les systèmes ne sont que le déploiement de certaines idées contenues dans la raison.
    - Les systèmes sont ici eux-mêmes des architectures conceptuelles hiérarchiquement organisées
    - Ils se développent comme les vivants, de manière organique, exportant la cohérence de leur idée initiale (schème architectonique) dans toutes leurs parties subordonnées.
  - Pour Hegel, l'idée d'un système total, s'auto-théorisant

# Les problèmes

- Les systèmes, apportant au problème du monde et de l'homme dans le monde, une réponse originale et unique, sont des corps d'énoncés «fermés» pour certaines règles (Gueroult, 1979). Pourrait-on imaginer un système où la cohérence de la doctrine ne serait pas incompatible avec la liberté humaine (système ouvert de Schelling)?
- En principe, la théorie du système n'est pas dans le système. Que devient le système si l'on y intègre son propre métasystème?(Hegel)
- Existe-t-il des possibilités de pensées non systématiques? (penseurs en maximes, aphorismes, fragments, essais, de Pascal à Kierkegaard en passant par Nietzsche et les Romantiques allemands)

# La théorie générale des systèmes

- La TGS de L. von Bertalanffy hérite de cette histoire complexe et des problèmes que pose la notion.
- La notion « bertalanffyenne » de système comme «ensemble d'éléments en interaction» a une inspiration *biologique* (la notion d'organisme, étudiée dans sa *Theoretische Biologie*)
- Elle récupère en même temps la notion *physique* de système, développée au XIXe à partir de Poinsot (théorie de l'équilibre) et bientôt étudiée, dans un cadre évolutif, au moyen du formalisme différentiel.

2

# La notion de modèle

# Origine de la notion

- Le mot « modèle » vient du latin *modulus*, forme de cordonnier, diminutif de *modus*, mesure.
- Au départ, terme d'architecture désignant « la mesure arbitraire servant à établir les rapports de proportion entre les parties d'un ouvrage d'architecture » (S. Bachelard, 1979). Cf. Le Corbusier, *Le Modulor*, Gonthier, 1977).
- Importations en français
  - Renaissance : le mot « moule
  - XVIe siècle : le mot italien *modello*, qui a donné « modèle »

# Double caractère du modèle

- Comme le mot « exemple », tour à tour paradigme ou simple exemplaire, le mot « modèle » a lui aussi deux sens :
  - L'original, l'idéal à atteindre, la norme ou la règle à quoi se référer (x est un *modèle* de vertu)
  - La copie, l'imitation, l'exemplaire quelconque (le *modèle réduit*), la simple réalisation ou interprétation (par ex., en logique, la notion de *modèle* ou interprétation sémantique d'une théorie)
- La notion de « modèle » oscille donc entre la norme abstraite et la figuration

# La figuration : le modèle iconique

- Historiquement premier, on rencontre surtout ce sens dans l'histoire de la biologie, notamment dans :
  - La cosmogénèse présocratique (notamment chez Anaximandre) est construite sur des analogies embryologiques (Baldry, 1932)
  - La biologie platonicienne, déjà prémécaniste :
    - Vertèbres = gonds de porte (Timée, 74a)
    - Vaisseaux sanguins = canaux d'irrigation (Timée, 77c)
  - La « biologie » du XVIIe siècle : Harvey déduit la circulation sanguine de la forme des valvules (= soupapes ou portes d'écluse); les automates de Vaucanson illustrent la théorie cartésienne des animaux-machines

# Vers la notion scientifique de modèle

- XIXe siècle : la physique s'ouvre sur des domaines nouveaux (électrostatique, électrodynamique, électromagnétisme, thermodynamique...)
- Elle va d'abord explorer ces domaines à l'aide de théories déjà connues et de méthodes avérées, notamment de méthodes mécaniques (d'où des forces en  $1/d^2$  en électrostatique).
- Elle devra progressivement se détacher de ces «méthodes» et de ces « modèles » pour en inventer d'autres.

# Premiers sens scientifiques du mot

- Le modèle est un instrument d'intelligibilité dont la fonction est double :
  - Il permet d'aborder des champs nouveaux à partir de domaines connus (fonction heuristique d'enrichissement de la connaissance)
  - Par la simplification de la représentation des phénomènes qu'il amène avec lui, il procure aussi une sécurisation de la connaissance, justifiant l'exportation de méthode connues dans des champs inconnus.

# Le modèle comme analogie physique (Maxwell, 1890)

- «par analogie physique, j'entends cette ressemblance partielle entre les lois d'une science et les lois d'une autre science, qui fait que l'une des deux sciences peut servir à illustrer l'autre»

J.C. Maxwell, *Scientific papers*, Cambridge, 1890, I, p. 156

# Un exemple (Duhem, 1910)

- «L'idée de corps chaud et l'idée de corps électrisé sont deux notions essentiellement hétérogènes, les lois qui régissent la distribution des températures stationnaires sur un groupe de corps bon conducteurs de la chaleur et les lois qui fixent l'état d'équilibre électrique sur un ensemble de corps bon conducteurs de l'électricité ont des objets physiques absolument différents;
- cependant, les deux théories qui ont pour mission de classer ces lois s'expriment en deux groupes d'équations que l'algébriste ne saurait distinguer l'un de l'autre;
- aussi, chaque fois qu'il résout un problème sur la distribution des températures stationnaires, il résout par la même un problème d'électrostatique et inversement».

# Le point de vue de Duhem

- Bizarrement, Duhem appelle « illustration » et non pas « modélisation » cette possibilité qu'une théorie ait le même modèle mathématique qu'une autre.
- Il préfère garder la notion de « modèle » pour les représentations figuratives, iconiques, dont il regrette, d'ailleurs, que les anglais abusent (par exemple, le modèle mécanique de l'éther de Maxwell)
- Mais il est clair que les vertus qu'il prête à l'illustration sont celles que nous attribuons aujourd'hui à la modélisation mathématique.

# Explication du point de vue de Duhem

- Le point restrictif de Duhem sur les modèles est motivé par deux raisons :
  - 1. La notion de modèle est, pour lui, du côté de la figuration iconique, de l'image, du concret. Or les théories physiques sont nécessairement mathématiques, et abstraites. (il ne perçoit pas qu'un modèle puisse aussi être mathématique)
  - 2. Duhem se méfie du succès de la mécanique newtonienne, qu'on cherche à exporter au risque de forcing isomorphiste. Il remarque que nombre de théories physiques ou chimiques se sont constituées sans référence à la mécanique (ex: théorie de la continuité de l'état liquide à l'état gazeux, théorie de la pression osmotique...)

# La géométrie au XIXe ou la gloire des modèles

- Géométrie au XIXe siècle : début de la dualité plan/espace (Chasles, Gergonne)
- Naissance de la géométrie « projective » (Monge, Poncelet)
- Développement des géométries non-euclidiennes (Gauss, Bolyai, Lobatchewsky)
- 1868 : Beltrami donne une interprétation euclidienne (un « modèle » euclidien) de la géométrie de Lobatchewsky.

# La découverte des structures algébriques

- Parallèlement, l'algèbre, à partir de Galois, entame un mouvement irréversible qui dégage les concepts de groupe, d'invariance par un groupe, d'isomorphisme, d'homomorphisme, débouchant sur le structuralisme mathématique.
- Un siècle plus tard, la théorie des catégories et des foncteurs d'Eilenberg-Mac Lane se posait comme une véritable théorie abstraite des correspondances de structure, devenant une sorte de gigantesque mathématique de l'analogie.
- On accède ainsi à un véritable langage de la comparaison des formes

# Le développement de l'intérêt pour les modèles (C.P. Bruter)

- L'intérêt pour les modèles s'est spécifiquement développé après la 2e guerre mondiale, sous l'influence de la recherche opérationnelle.
- On assiste alors à la prolifération de modèles : d'organisation d'opérations militaires, d'échanges économiques, d'activité administratives, etc.
- Le langage de la théorie des systèmes, combiné avec celui de l'algèbre, permet de réinterpréter le modèle comme un système homomorphe à un système donné (Walliser, 1979)
- On essaie alors de faire une théorie des modèles (sous titre de *Stabilité structurelle et morphogénèse* de R. Thom (1972).



3

# La modélisation et ses problèmes

# Problématique générale

- Un système évolutif  $S$ , dans un environnement  $E$ , avec lequel il a éventuellement des échanges, est décrit par un certain modèle  $M$  qui présente avec lui quelque analogie.
- Quels sont les grands problèmes que va rencontrer le modélisateur dans sa tâche de description du système, d'explication de son fonctionnement, voire de prédiction (à un instant donné ou à long terme) de son comportement?

# Les grands problèmes de la modélisation

- Les limites de l'analogie
- Les problèmes de découpage et de représentativité
- L'opposition formel/continu
- Les rapports du qualitatif et du quantitatif
- La frontière du chaos et les limites de la modélisation

# Les limites de l'analogie dans la période pré-scientifique

- Bachelard a stigmatisé, dans *La Formation de l'Esprit Scientifique*, l'extension abusive d'images familières, qui donne lieu à des modèles iconiques mal adaptés :
- Un exemple célèbre :
  - Le fameux pseudo-modèle de l'éponge, qui permettait à Réaumur de rendre compte de la compression et de la dilatation de l'air au moyen de cet image de l'expression d'un corps spongieux
  - Réaumur persistera longtemps dans son erreur, considérant la matière comme une sorte d'éponge pour le fluide électrique et l'aimant comme une sorte d'éponge pour le fluide magnétique.

# Les phénomènes de « placage » et les modèles totalitaires

- Le biologiste Antoine Danchin a dénoncé, dans les années 1980, deux tendances perverses de la science :
  - L'une consiste à ériger en principe d'explication globale des lois locales ou liées à une certaine échelle de phénomènes.
    - Un exemple est la notion d'entropie, et les supposés liens existant entre l'entropie et le désordre, qui a engendré une sorte de pessimisme philosophique dans la 2e moitié du XIXe siècle.
  - L'autre consiste à forcer l'isomorphisme du modèle et de la réalité modélisée par des adaptations ad hoc qui, au lieu de permettre de valider le modèle dans de bonnes conditions, le rendent indécidable.

# Un exemple de placage en biologie moléculaire : le rôle de l'oxygène dans la fixation de l'hémoglobine

- Au départ, il y a un constat d'Adair et Pauling : l'oxygène joue peut-être un rôle dans la fixation de l'hémoglobine des vertébrés supérieurs dans les tissus.
- Effectivement, l'hémoglobine, qui se charge d'oxygène dans les poumons, se décharge dans les tissus. Mais elle le fait d'une manière qui est loin d'être proportionnelle à la pression de l'oxygène libre. Les mesures permettent de reconstituer une courbe (ou une famille de courbes) de type sigmoïde, qui peut donner lieu à plusieurs équations.

# Genèse d'une erreur

- Les auteurs du modèle choisissent (parce que c'était le plus simple) une représentation polynomiale de la courbe où apparaissent 4 coefficients.
- Comme l'hémoglobine est une molécule tétramérique, ses quatre sous-unités pouvaient être considérées comme liant 4 molécules d'oxygène, et les coefficients du polynome pouvait être interprétés comme des constantes de dissociation de l'oxygène sur chaque partie de la molécule.
- Ces termes variant en fonction de la présence d'oxygène déjà lié, les biologistes en déduisirent que la fixation d'une molécule d'O<sub>2</sub> sur une sous-unité facilitait la fixation sur les sous-unités suivantes.

# Le forcing isomorphiste

- Malheureusement, plus les mesures se précisaient, plus le modèle était pris en défaut.
- Or, au lieu de le remettre en cause, on tenta de résoudre les inadéquations en faisant intervenir le temps de présence de l'oxygène dans les états liants ou non-liants d'hémoglobine.
- Ceci eut pour résultat de rendre le modèle indécidable car on était amené, pour ce faire, à prendre en compte n'importe quel ensemble de mesures exprimant une association coopérative de l'oxygène.

# Les problèmes de découpage

- Pour qu'il y ait modèle, i.e. système homomorphe à un système donné, il faut qu'un champ d'étude ait été découpé préalablement et constitué en système.
- Or tout découpage, toute constitution de classe se heurte à des phénomènes frontaliers (insituables, mixtes, effets de bord, etc.) qui peuvent affecter soit l'espace, soit le temps.
- Exemples :
  - En écologie, où s'arrête un milieu? Qu'est-ce qui définit un écosystème?
  - Dans un processus dynamique, où placer les limites temporelles et comment décider de l'unité et de l'échelle d'observation.
  - Pour les phénomènes qui se répètent de manière seulement approximativement semblable, comment décider de la période ou de la quasi-période? Et a-t-elle une existence « réelle »?

# Les problèmes de représentativité

- Le problème de représentativité naît de l'essence du modèle. Il y a, au mieux, homomorphisme entre le modèle et le réel, ce qui signifie que le modèle est nécessairement une simplification de la réalité. C'est d'ailleurs l'un des buts de la modélisation.
- En outre, il y a une impossibilité a priori à constituer une image semblable à l'original et qui ne soit pas lui.
- Cf. Platon, Cratyle, 432 cd : si la copie est parfaite, plus de moyen de distinguer l'original et la copie.
- Illustration littéraire : la nouvelle où Borgès évoque des géographes scrupuleux au point de fabriquer une carte de la dimension du territoire du pays représenté. Elle ne sert plus à rien et finit par partir en lambeaux, « laissés à l'inclémence du soleil et des hivers ».

# Problèmes liés à la représentativité

- Sur un plan purement quantitatif : problème d'échantillonnage. A quelles conditions l'échantillon est-il statistiquement représentatif du tout? Cela supposerait, en toute rigueur, que le tout soit bien défini, or on n'a pas, par hypothèse, une bonne définition, puisque, précisément, on cherche à le représenter de façon projetée au moyen de l'échantillon.
- Cela revient à dire que la totalité elle-même ne peut être évaluée que de façon plus ou moins incertaine :
  - en hydrologie, par exemple, on calculera la résistance d'un barrage par rapport à des données historiques sur les étiages (quant on en a) et sinon, par rapport à « la crue du siècle ».
  - En sciences politiques, les projections électorales présupposent l'indépendance des choix politiques par rapport à la dimension des classes mais la constitution de l'échantillon vraiment représentatif de l'ensemble à un moment donné est un problème épineux.

# Le passage du quantitatif au qualitatif

- Les méthodes (puissantes) de l'analyse des données et des correspondances aimeraient faire surgir le qualitatif du quantitatif (Benzécri et coll., 1973)
- Le problème (Lerman, 1981) est qu'on ne tirera jamais une partition (et moins encore une classification) d'un tableau de données numériques sans introduire un certain nombre d'hypothèses touchant :
  - L'indice de distance entre paires d'objets;
  - Le critère d'agrégation des distances pour former les classes;
  - L'algorithme (ascendant ou descendant) utilisé;
  - La méthode générale (formelle ou floue) qu'on a choisie.
  - Etc.

# Le continu et le discontinu

- Lontemps la modélisation d'un processus  $P$  a consisté à construire des modèles formels de  $P$ 
  - Tout état  $A$  de  $P$  est considéré comme paramétré par un système de propositions  $a$  du système formel  $S$  ssi, lorsque l'état  $A$  se transforme en un état  $B$ ,  $B$  peut être paramétré par un ensemble  $b$  tel que  $b$  se déduit de  $a$  à l'intérieur de  $S$ . (Thom, 1972)
  - Problème : Même si une telle formalisation n'est pas nécessairement déterministe (des conséquences différentes peuvent être déduites d'un même ensemble de prémisses), ce qu'on formalise ainsi est ce qu'on pourrait appeler la cinématique du processus.  
Or, c'est généralement la dynamique qui donne les probabilités de transition d'états et il est rare qu'un processus admette une formalisation logique globale.

# L'approche de Thom

- Les systèmes naturels (et sociaux) ont souvent une structure plus souple que les systèmes formels
- Entre différents états de ces systèmes, on a plus souvent, au mieux, une relation de pré-ordre qu'une relation d'implication logique.
- Si l'on abandonne la restriction que le processus à l'étude ne comprenne qu'un nombre au plus dénombrable d'éléments, on tombe alors dans des modèles continus.
- L'utilisation de la topologie différentielle permet alors, pour des systèmes «structurellement stables» de construire des modèles qualitatifs de la dynamique sous-jacente, avec ses bifurcations et ses discontinuités «catastrophiques», qui sont, à ce moment-là, répertoriables.

# Un postulat remis en cause

- «J'étais parti de l'idée qu'un système différentiel, et même, qu'un système dynamique en un certain sens, est structurellement stable. (Thom, 1991)
- Un tel énoncé est vrai en dimension 2, il a été démontré pour les surfaces orientables, mais ne peut être généralisé. Il est en fait remis en cause pour la dimension 4.
- Dans cette dimension, il existe des systèmes différentiels, pour lesquels, pour un petit changement de paramètres, on peut obtenir une infinité de types topologiques du système correspondant. En fait, le système est instable en tous points de l'espace de contrôle : «ce sont en fait les ruines du fondement théorique de la théorie des catastrophes » (Thom, 1991)

# Vers une typologie des systèmes dynamiques?

- Les systèmes évolutifs existants pourraient peut-être se partager en deux grandes classes :
  - Les systèmes conservateurs ou à évolution contrôlable (dans lesquels l'évolution conserve les objets géométriques linguistiquement descriptibles);
  - Les systèmes de type récurrent (pendule, planètes, etc.) ou de type ergodique ou mélangeant (systèmes sensibles aux conditions initiales, systèmes « chaotiques » type « transformation du boulanger ») ou, au bout de peu de temps, les formes géométriques associées au système deviennent méconnaissables et le formalisme linguistique perd toute efficacité
  - Problème : que faire avec de tels systèmes?

# L'ordre et le désordre

- L'ordre est une donnée morphologique reposant sur la description géométrique d'un donné lié à un substrat (points, événements équiprobables, etc.). => Si le substrat est mal identifié, on ne peut pas tabler sur cette notion.
- Dans le cas de systèmes « ouverts » (= ayant des échanges avec l'environnement), quand des états stationnaires se présentent loin de l'équilibre (cas des structures dites « dissipatives » étudiées par Prigogine), la modélisation est chaque fois spécifique : on applique généralement un formalisme différentiel, on étudie le comportement asymptotique du système, ses attracteurs, la sensibilité aux conditions initiales, etc.
- Le problème de la relation du système à l'environnement peut être éclairé par cette étude, notamment l'étude des « attracteurs étranges s'il s'en présente.

# Les problèmes précédents et la modélisation en économie

- Beaucoup des problèmes épistémologiques évoqués jusqu'ici pourraient se retrouver dans le domaine économique, notamment dans les tentatives, depuis les années 30, de constituer des modèles mathématiques des fluctuations économiques.
- Les caractéristiques principales de ces modèles sont :
  - D'essayer de définir le revenu et l'investissement dans une société donnée
  - De tenter ainsi de rendre compte des crises.
  - D'expliquer d'une façon générale l'évolution du système économique en combinant croissance et cycle.

# Trois exemples de modèles

- Les modèles « multiplicateur-accélérateur » (Samuelson, 1939; Hicks, 1949)
- Les modèles de la croissance cyclique (Marx, Goodwin, 1967)
- Les modèles de « cycles réels » (Phelps, Friedman, 1968; Kydland-Prescott, 1982; Long-Plosser, 1983).

# Le modèle multiplicateur-accélérateur

- Il s'agit d'associer une théorie visant à déterminer le revenu par l'investissement à une théorie déterminant l'investissement par le taux de variation du revenu, d'où une interaction entre ce qu'on appelle un « multiplicateur » (Kahn, 1931; Keynes) et un accélérateur simples.
- Multiplicateur : l'épargne nécessaire à un investissement planifié peut être obtenue comme une variation du niveau du revenu
- Accélérateur (Aftalion, 1909; Clark, 1917): il y a un rapport constant entre la capacité à produire (mesurée par le stock de capital qu'on détient) et la production elle-même.
- Philosophie du modèle : le taux de croissance d'une économie est déterminé par le rapport de la propension à épargner au coefficient d'accélération
- Chez Samuelson et Hicks, on aboutit à une interaction multiplicateur-accélérateur définissant autour de l'équilibre des mécanismes d'oscillation cyclique plus ou moins complexes.
- => modèle formel endogène, quantitatif, purement algébrique.

# Le modèle de Goodwin

- Il s'agit de donner une formulation mathématique à la théorie des cycles de Marx et à son explication des crises capitalistes.
- Ce sont les conditions de la répartition du revenu entre capitalistes et travailleurs qui déterminent, dans ce modèle, l'évolution cyclique de l'économie. Les relations entre les deux classes se déterminent comme suit :
  - si les salaires sont trop élevés et les profits trop faibles, alors, la croissance est faible et le chômage est en accroissement;
  - A l'inverse, des salaires faibles et des profits élevés favorisent la croissance et la baisse du chômage

# Un modèle différentiel

- Ce modèle est la transposition économique du modèle différentiel de la relation prédateur-proie de Lotka et Volterra (1925-26), qui décrit les évolutions de populations animales indépendantes (lièvres/lynx)
- Il repose sur un système d'équations différentielles dynamiquement stable et structurellement instable, évoluant de façon oscillatoire.
- La résolution du système fait apparaître des solutions  $u$  et  $v$  oscillant entre des valeurs limites. Quand le taux de profit est maximum, le taux d'emploi est à son niveau moyen, mais un taux élevé de croissance, qui pousse l'emploi vers son taux maximum, finit par réduire le taux de profit à sa valeur moyenne. La décélération de la croissance réduit alors à nouveau l'emploi, ce qui restaure alors la profitabilité car la productivité s'accroît à ce moment-là, de nouveau, plus vite le taux de salaire.

# Le modèle des cycles réels (real business cycles)

- L'objet de ces modèles (exogènes) est de montrer que l'impact des chocs réels (perturbations affectant les préférences, possibilités technologiques, dotations de facteurs, contraintes institutionnelles, etc.) est suffisant pour produire des phénomènes cycliques.
- Dans tous ces modèles, il s'agit de montrer que les phénomènes cycliques peuvent émerger d'un cadre théorique minimal où seules figurent les hypothèses les plus fondamentales de l'équilibre général, monnaie exclue.

# Hypothèses générales

- Cadre général : théorie néoclassique de l'accumulation optimale du capital (modèle de Cass, 1965)
- Grands nombre de consommateurs identiques simulés par un petit nombre d'agents représentatifs dont l'interaction sur des marchés parfaitement concurrentiels serait la même.
- Fondement microéconomique : rationalité des agents de l'économie, qui maximise leur utilité sous les contraintes habituelles de production et de budget. La fonction intertemporelle d'utilité dépend de la consommation et du loisir. Programme de maximisation des agents =< 3 effets : a) un arbitrage à chaque période entre consommation et loisir; b) la substitution intertemporelle entre consommation présente et consommation future; c) la substitution intertemporelle du loisir, qui commande le profil de l'offre de travail.
- Il n'y a ni surprise, ni erreur d'anticipation, ni imperfections de marché à la base de ces mécanismes

# Conséquences

- Sur la base des hypothèses précédentes, et par le jeu des arbitrages intertemporels, il est possible de montrer qu'une perturbation ponctuelle voit ses effets propagés dans le temps.
- De plus, des perturbations non corrélées entre elles peuvent avoir pour conséquence une corrélation sérielle sur les variables macroéconomiques relevant des décisions optimales des agents (consommation, offre de travail, investissement, production)
- => modélisation exogène, avec hypothèses simplificatrices assez nombreuses et assez lourdes (modèle de Brock et Mirman, 1972)
- Différentes extensions de ce modèle ont été mises en place par la suite (portant respectivement sur les fluctuations de l'emploi et du chômage, les effets de stock, la transmission internationale des fluctuations) sans changer sa nature.

# Conclusion générale

- Les modèles de systèmes concrets sont des outils de description simplifiant la réalité, et destinés à ramener l'inconnu au connu;
- La théorie des modèles soulève les difficultés épistémologiques habituelles touchant les limites des vertus de l'analogie, le découpage, la représentativité, les oppositions typiques du continu et du discontinu, du qualitatif et du quantitatif. Elle bute sur l'instabilité structurelle et les phénomènes non-linéaires.
- La pratique des modèles pose en outre de nombreux problèmes de validation et exige des précautions, en particulier dans le domaine des sciences sociales, où beaucoup d'hypothèses ont tendance à rester implicites.