

## Chapitre 6 : Outils de l'analyse évolutionniste

Murat Yıldızoğlu <http://yildizoglu.u-bordeaux4.fr>

Système complexe → difficulté de formuler de bonnes hypothèses.  
→ Caractérisation des propriétés émergentes du système ↔ celle des déterminants microscopiques de ces propriétés.  
→ Démarche inductive comme une première approche.  
(au lieu d'une approche purement hypothético-déductive)  
Faits stylisés → " théories appréciables " (Nelson et Winter) → confrontation avec des observations plus fines et avec la modélisation.

*When on board H.M.S. Beagle, as naturalist, I was much struck with certain facts in the distribution of the organic beings inhabiting South America, and in the geological relations of the present to the past inhabitants of that continent. These facts, as will be seen in the latter chapters of this volume, seemed to throw some light on the origin of species—that mystery of mysteries, as it has been called by one of our greatest philosophers. On my return home, it occurred to me, in 1837, that something might perhaps be made out on this question by **patiently accumulating and reflecting on all sorts of facts** which could possibly have any bearing on it. ((Darwin 1998), p .3)*

→ Caractériser les “ faits stylisés ” : régularités empiriques qui méritent d’être expliquées.

Première étape : formuler un ensemble cohérent de causalités compatible avec ces faits stylisés et avec les observations plus fines.

→ Nelson et Winter : “ théorie appréciative ”.

## La modélisation évolutionniste

- affiner les raisonnements des théories appréciative en testant la robustesse des connections qu'elles établissent entre les faits stylisés et leurs causes et leurs conséquences.
- Impossibilité d'utiliser les outils de modélisation de l'approche néo-classique (l'optimisation et la recherche de points fixes).

→ Outils qui s'inspirent plutôt de la modélisation biologique en termes de populations :

- Modèles basés sur la *dynamique de réplication* (le théorème de (Fisher 1930)).
- Modèles microéconomiques → comportements en rationalité procédurale et une dynamique de déséquilibre.

Point crucial : modélisation de l'apprentissage et des anticipations.

Pression de sélection → croissance différenciée des différentes sous-populations (types de firmes)  
← performance relative (*fitness*) de chaque type par rapport aux autres  
→ Formulation : Dynamique de réplication

$x_i$  : fréquence relative du type  $i$  dans la population totale

$f_i$  : performance relative du type  $i$

Résultat de la sélection :

$$\dot{x}_i = \frac{dx_i}{dt} = a \cdot x_i (f_i - \bar{f}) \quad (1)$$

où

$$\bar{f} = \sum x_i \cdot f_i, \quad i = 1..n \quad (2)$$

Performance  $\geq$  performance moyenne :  $\dot{x}_i \geq 0$  ;

sinon :  $\dot{x}_i < 0$ .



Si  $f_i$  constantes  $\rightarrow$  dynamique de sélection  $\rightarrow$  augmentation continue de la performance moyenne et convergence vers une population homogène formée uniquement par l'espèce qui possède la performance la plus élevée (comme dans notre exemple inspiré par Maynard Smith).

Contexte industriel  $\rightarrow$  performance individuelle variable et dépendante de l'évolution de la population et celle du contexte de la sélection.

$\rightarrow$  Dynamique plus ou moins complexe.

## Applications économiques

- spécifier les fondements microéconomiques qui vont conduire à une spécification des fonctions  $f_i(\bullet)$
- La forme réduite de beaucoup de modèles industriels évolutionnistes peut être exprimée comme une dynamique de réplication.

La quasi-totalité des modèles évolutionnistes de la dynamique industrielle

→ routines pour représenter la rationalité procédurale des firmes.  
Le modèle initiale de Nelson et Winter (1982, chapitre 12)

Technologies à rendements constants ;

+ le progrès technique non incorporé au stock de capital.

Investissement en R&D → innovation → augmentation de la productivité du capital physique.

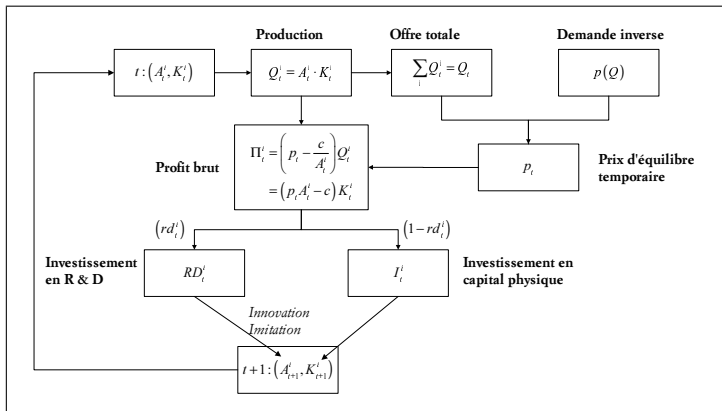
Version originale → des règles de comportement très simple pour l'investissement en R&D.

→ aucun apprentissage au niveau des firmes.

Etude par simulations informatiques :

→ Valeurs initiales pour les paramètres → dynamique du modèle de période en période.

→ Des phénomènes très intéressants : la concurrence technologique, la dépendance au sentier et la co-évolution des parts de marché des firmes.



La structure du modèle de Nelson et Winter (1982), chapitre 12

Ce modèle contient trois principaux blocs :

- 1 Comportements sur le marché : offres, demande, prix de marché, profits ;
- 2 Changement technique : innovation et imitation (stochastiques), productivités ;
- 3 Equations de transition : investissement, dépréciation et stock de capital.

## Offre individuelle :

$$Q_{it} = A_{it} \cdot K_{it}$$

$A_{it}$  : productivité du capital (  $1/A_{it}$  : coefficient de capital) de la firme  $i$  à la période  $t$ ,

$K_{it}$  : stock de capital de la firme  $i$  à la période  $t$ .

Le capital est le seul facteur de production. Les rendements d'échelle constants et la valeur de  $A_{it}$  sera modifiée par le progrès technique (bloc 2).



## Offre totale :

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_{it} = \sum_{i=1}^n A_{it} \cdot K_{it}.$$

( $n$  firmes sur le marché)

## Demande et prix :

$$p_t = D(Q_t) = 67/Q_t$$

## Profit brut :

$$\Pi_{it} = p_t Q_{it} - C(Q_{it}) = p_t Q_{it} - c \left( \frac{Q_{it}}{A_{it}} \right) = \left( p_t - \frac{c}{A_{it}} \right) Q_{it} \quad (3)$$

Taux de profit brut :

$$\pi_{it} = p_t A_{it} - c$$

La productivité des firmes est modifiée à chaque période par le biais de leurs innovations et apprentissage.

**L'innovation** est un processus stochastique en deux étapes :  
On fait d'abord un tirage binomial pour déterminer si la firme a "réalisé" une innovation ( $d_{int} = 1$ ) avec la probabilité :

$$P[d_{int} = 1] = a_n r_{in} K_{it}$$

où  $r_{in} K_{it}$  : R&D pour innover

Si innovation réussie ( $d_{int} = 1$ ),

on fait un second tirage pour déterminer la résultat de l'innovation en termes de productivité

$$\tilde{A}_{it} \rightsquigarrow F(\bar{A}; t; A_{it-1}), \text{ (dans le cas général )}$$

## Régimes technologiques possibles :

- *Innovations basées sur la science* :

$$\log(\tilde{A}_{it}) \rightsquigarrow \mathfrak{N}(\lambda(t), \sigma^2) \quad \text{avec } \lambda(t) = \alpha + \beta t.$$

où  $\lambda(\cdot)$  représente l'évolution latente de la productivité qui provient de l'activité de la R&D réalisée en dehors de l'industrie en question.

- *Innovations cumulatives* au niveau des firmes :

$$\tilde{A}_{it} \rightsquigarrow \mathcal{N}(A_{it-1}, \sigma_2^2)$$

de sorte qu'une firme qui prend de l'avance sur ses concurrents pourra profiter de cette avance pour dominer son secteur.

- *Innovations incrémentales* :

$$\tilde{A}_{it} \rightsquigarrow \mathcal{N}(\bar{A}_{t-1}, \sigma_3^2)$$

correspondant à des secteur de produits-système dans lesquels chaque firme a besoin du stock de connaissances collectif de son industrie pour avancer (le niveau des connaissances de l'industrie étant représenté ici par la productivité moyenne).

Nous allons présenter plus loin des travaux qui approfondissent le concept de régime technologique.

**Pour l'imitation**, nous avons un seul tirage (binomiale) qui détermine le droit de la firme à imiter.

$$P [d_{imt} = 1] = a_m r_{im} K_{it}$$

où  $r_{im} K_{it}$  : R&D pour imitation

Si l'imitation est réussie ( $d_{imt} = 1$ ) alors la firme obtient la meilleure technologie de l'industrie sans aucun coût supplémentaire :

$$\hat{A}_{it} = A_{it-1} + d_{imt} \cdot (A_t^* - A_{it-1}).$$

Finalement, la productivité de la firme est donnée par la meilleure des trois possibilités :

$$A_{i,t+1} = \max \left\{ A_{it}, \tilde{A}_{it}, \hat{A}_{it} \right\}$$

Cette équation appartient en fait au bloc 3 car elle détermine la dynamique des productivités.



L'autre composante de la dynamique est donnée par l'*investissement des firmes* et l'évolution de leur capital.

$$K_{i,t+1} = I \left( \frac{p_t A_{i,t+1}}{c}, \frac{Q_{it}}{Q_t}, \pi_{it}, \delta \right) \cdot K_{it} - (1 - \delta) K_{it}$$

où

- le dernier terme représente la dépréciation du capital et
- $\pi_{it}$  représente la contrainte de financement de la firme.

L'investissement de la firme :

← le désir de modifier son stock de capital en vue d'ajuster son niveau de production (avec des conjectures de Cournot) → investissement désiré  $I_d$  ;

← la capacité de financement → investissement possible  $I_p$ .

Taux d'investissement effectif :

$$I = \max \{0, \min \{I_d, I_p\}\},$$

Toute possibilité de désinvestissement est exclue du modèle puisque l'investissement possible et l'investissement désiré contient tous les deux  $\delta$ .

Les deux équations dynamiques de transition du modèle sont donc :

$$A_{i,t+1} = \max \left\{ A_{it}, \tilde{A}_{it}, \hat{A}_{it} \right\}$$
$$K_{i,t+1} = (1 + I - \delta) K_{it}$$

Il s'agit d'équations récurrentes stochastiques non-stationnaires.  
→ Impossibilité de résoudre le modèle analytiquement → procéder  
par simulations pour étudier le comportement de ce système.

Pour étudier le comportement de ce système, on construit un modèle informatique qui le reproduit.

Exécution du programme :

- initialisation avec des paramètres et des valeurs initiales des variables et ;
- Exécution pendant le nombre de périodes nécessaires pour analyser son comportement.

Chez Nelson & Winter :  $r_{in}$  et  $r_{im}$  sont initialisés de manière à garder le même niveau de dépense en R&D pour les différentes simulations et donc pour les différentes valeurs des autres paramètres.

Le capital ( $K_0$ ) aussi est initialisé selon cette règle et de manière à avoir un investissement désiré (bloc 3) initial nul.

Cela nous donne le tableau de valeurs (extrait de N&W) suivant :

	<i>Nombre de firmes</i>	
	4	32
$K_0$	89.70	12.89
$r_{im}$	0.00112	0.00097
$r_{in}$	0.0223	0.0194
$c$	0.16	0.16

## Version en Java :

`http://beagle.u-bordeaux4.fr/yildi/nworig/nelwin.html.`

→ Règles d'initialisation en conformité avec celles utilisées par Nelson et Winter mais elle utilise les probabilités initiales d'innovation et d'imitation pour ce *calibrage*.

(Winter 1984) → inclut un apprentissage des firmes basé sur un comportement de type *satisficing* :

→ la firme qui observe qu'elle recule en termes de taux de profit par rapport à la moyenne de son industrie

→ s'approcher du comportement d'investissement moyen de l'industrie.

Toute la dynamique du modèle dépend de l'apprentissage des firmes,

→ importance de la représentation de cet apprentissage.

Or

Absence de consensus global quant à la nature exacte de cet apprentissage (ni dans les sciences cognitives, ni en économie).

Trois types de stratégies de modélisation qui domine la littérature (cf. (Dosi, Faggiolo & Marengo 2005)) :

- *Règles individuels constantes* (démarche assez proche du modèle initial de Nelson et Winter).  
→ un apprentissage uniquement social, sans que les agents individuels puissent adapter leur comportement à l'évolution de leur milieu.



- *Apprentissage purement évolutionnaire.*
  - possibilité, pour les individus, de faire des expériences aléatoires ( $\approx$  mutations en biologie) → apprentissage localisé. Apprentissage localisé complément de l'apprentissage social (basé sur l'imitation des comportements);
  - Intelligence artificielle.*
    - algorithmes génétiques, systèmes classificateurs, réseaux de neurones artificiels, etc.
    - Représentation heuristique du résultat de l'apprentissage (et non de ces mécanismes)
    - Intelligence artificielle → des procédures suffisamment flexibles pour permettre l'émergence des comportements aussi riches que ceux des agents économiques réels (*cf.* (Arthur 1991)).

Voir :

<http://beagle.u-bordeaux4.fr/yildi/essid/learnapplet/index.html>


→ Application de ces méthodes au modèle de Nelson & Winter (1982).

Aucune de ces approches n'est pleinement satisfaisante.

Nous reviendrons dans le chapitre suivant sur les résultats qu'elles génèrent.

# Partie III

## Résultats de la modélisation évolutionniste

-  Arthur, B. (1991), 'Designing economic agents that act like human agents : A behavioral approach to bounded rationality', *American Economic Review, Papers and Proceedings* **81**, 353–359.
-  Darwin, C. (1998), *The Origin of Species*, Wordworth Editions, Hertfordshire. Reprint of the first edition (November 1859).
-  Dosi, G., Faggiolo, G. & Marengo, L. (2005), Learning in evolutionary environments, *in* K. Dopfer, ed., 'Evolutionary Foundations of Economics', Cambridge University Press, Cambridge.
-  Fisher, R. A. (1930), *The Genetical Theory of Natural Selection*, Clarendon Press, Oxford.
-  Winter, S. (1984), 'Schumpeterian competition in alternative technological regimes', *Journal of Economic Behavior and Organization* **5**, 287–320.