



HAL
open science

Entreprises adaptatives, détermination des prix et répartition du revenu dans un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène

Pascal Seppecher

► **To cite this version:**

Pascal Seppecher. Entreprises adaptatives, détermination des prix et répartition du revenu dans un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène. "The Future of Post Keynesian Economics", Conférence de l'Association pour le Développement des Etudes Keynésiennes, Jul 2010, Bordeaux, France. hal-00532987v1

HAL Id: hal-00532987

<https://univ-cotedazur.hal.science/hal-00532987v1>

Submitted on 4 Nov 2010 (v1), last revised 16 May 2012 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Entreprises adaptatives, détermination des prix et répartition du revenu dans un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène

Pascal Seppecher*

10 juillet 2010

Ce papier présente un modèle macroéconomique qui associe étroitement théorie de la monnaie endogène et approche multi-agents. C'est un modèle décentralisé, peuplé d'agents multiples, hétérogènes, autonomes et concurrents qui interagissent simultanément dans les sphères réelle et monétaire. Les propriétés macroéconomiques du modèle ne sont pas postulées, ce sont des propriétés émergentes du système complexe formé par les interactions entre les agents.

On dote les entreprises de capacité d'adaptation, alliant imitation et innovation, pour déterminer les prix sur le marché des biens. Par une série de simulations, on observe l'évolution des comportements des entreprises et leur impact sur la dynamique macroéconomique, en particulier sur le partage du revenu entre salaires et profits.

Classification JEL : C63, D49, D83, E25

*CEMAFI (Centre d'Etudes en Macroéconomie et Finance Internationale - Université de Nice Sophia Antipolis). Email: p.seppecher@free.fr

1 Introduction

En croisant l’approche multi-agents et avec les principes de la théorie de la monnaie endogène, on a construit un modèle informatique peuplé d’agents multiples, hétérogènes, autonomes et concurrents qui interagissent simultanément dans les sphères réelle et monétaire (Seppecher 2009). Toute la monnaie qui circule dans le modèle est une monnaie de crédit, créée par le crédit bancaire pour le financement de la production.

Dans ce modèle, les marchés (marché des biens, marché du travail) ne sont rien d’autre que des lieux où les agents (entreprises, ménages) établissent des relations directes et décentralisées. Les agents n’ont accès à aucune information macroéconomique.

Parmi les propriétés émergentes de ce modèle, l’une des plus remarquables est la stabilité de long terme de la répartition du revenu entre salaires et profits, elle-même étroitement liée à la stabilité macroéconomique du modèle. Pour comprendre cette émergence, nous avons soumis le modèle à plusieurs séries d’expériences.

Dans une première série d’expériences, on s’est intéressé au rôle joué par le comportement du secteur bancaire (Seppecher 2010a). On a ainsi montré qu’un dysfonctionnement bancaire, en permettant la formation d’une bulle de créances irrécouvrables, pouvait conduire à une déstabilisation du système.

Dans une deuxième série d’expériences, on s’est intéressé au rôle joué par le comportement des ménages sur le marché du travail (Seppecher 2010b). On a ainsi montré que l’augmentation de la flexibilité des salaires pouvait enclencher une spirale déflationniste conduisant à une crise systémique.

On s’intéresse à présent au rôle joué par le comportement des entreprises lors de la détermination du prix de vente de leur production. Pour cela, on définit deux techniques de détermination des prix : l’une basée sur la demande constatée (*demand-based-pricing*), l’autre basée sur les coûts de production (*cost-plus-pricing*). Les entreprises cherchent à maximiser leur profitabilité en explorant différentes stratégies combinant ces deux méthodes. On dote les entreprises de capacité d’imitation et d’innovation. Les entreprises les moins profitables abandonnent leur stratégie et la remplacent par de nouvelles stratégies imitant et dépassant les stratégies des entreprises les plus profitables.

Par une série de simulations, on observe l’évolution des comportements des entreprises et leur impact sur la dynamique macroéconomique, en particulier sur le partage du revenu entre salaires et profits.

2 Modèle

Le lecteur intéressé pourra consulter le papier que nous avons consacré à la construction du modèle (Seppecher 2009), on se contente ici d'en donner une description rapide à travers le déroulement d'une période de base (section 2.1).

Toutefois, dans cette première version du modèle, les entreprises étaient dotées de fonction de comportements simples. Ces comportements réactifs étaient identiques pour toutes les entreprises. On introduit à présent la possibilité pour chaque entreprise d'élaborer sa propre stratégie pour fixer son prix sur le marché des biens (section 2.2).

Les entreprises sont dotées de capacité d'adaptation. Elles observent les stratégies et les résultats des autres entreprises, et s'en inspirent pour créer de nouvelles stratégies plus profitables (section 2.3).

2.1 Description du modèle

Le modèle est peuplé de trois catégories d'agents : 2100 ménages, 250 entreprises et une seule banque, représentative de l'ensemble du secteur bancaire.

La principale caractéristique du modèle est la place accordée au secteur bancaire : la monnaie est introduite dans le système par le crédit bancaire, elle est détruite au moment du remboursement.

2.1.1 Période de base du modèle

L'intégration au modèle informatique de la bibliothèque logicielle java *JFreeChart* pour l'implémentation des graphiques nous a conduit à utiliser un format de date réel pour indexer les données des séries temporelles. Il fallait donc choisir une date d'origine, c'est pourquoi toutes les simulations débutent en janvier 2000. N'importe quelle autre date aurait pu être choisie.

La période de base du modèle est égale à un mois, durée séparant deux paiements consécutifs des facteurs de production.

Cette période de base est constituée de six phases principales :

- planification de la production,
- marché du travail,
- production,
- marché des biens,

- recouvrement des créances,
- distribution des profits.

2.1.2 Planification de la production

A début de la période, les entreprises préparent leur plan de production pour la période. Selon le niveau du stock de produit hérité de la période précédente, elles décident d'augmenter ou de baisser le niveau de la production.

C'est aussi le moment où l'entreprise décide d'augmenter ou de baisser le prix unitaire de sa production. La section 2.2 expose de façon détaillée les stratégies mises en oeuvre par les entreprises à cette occasion.

Une fois le niveau de production décidé, les entreprises peuvent calculer la masse salariale nécessaire, et leur besoin de financement. Elles s'adressent alors à la banque qui leur accorde le crédit demandé. La monnaie prêtée est créée par la banque.

2.1.3 Marché du travail

Une fois le financement de la production assuré, les entreprises postent leurs offres d'emploi sur le marché du travail. Chaque entreprise fait évoluer son salaire d'embauche en fonction des difficultés rencontrées pour trouver de la main d'oeuvre au cours des périodes précédentes.

Les ménages sans emploi consultent un nombre limité d'offres, répondent à la meilleure de ces offres, sous réserve que le salaire proposé dépasse le salaire de réservation.

Le salaire de réservation est propre à chaque ménage. Il dépend du dernier salaire perçu et s'abaisse avec la durée passée au chômage.

2.1.4 Production

Les ménages embauchés sont payés et travaillent sur les machines des entreprises.

Le produit de la période est ajouté au stock de l'entreprise.

2.1.5 Marché des biens

Chaque entreprise poste son offre, associant un volume de marchandise à un prix unitaire, sur le marché des biens.

Les ménages établissent leur budget partageant leurs ressources entre consommation et épargne.

Puis ils se portent sur le marché des biens consultent un nombre limité d'offres, sélectionnent la plus intéressante, et achètent la marchandise qu'ils consomment immédiatement.

2.1.6 Recouvrement des créances

La banque procède alors au recouvrement des créances échues. Le remboursement des crédits est une destruction de monnaie.

Si l'entreprise ne parvient pas à rembourser sa dette à l'échéance, sa note est dégradée. Elle bénéficie d'un nouveau prêt, qu'elle devra impérativement rembourser à l'échéance suivante, sous peine d'être mise en faillite et de disparaître.

2.1.7 Distribution des profits

Les entreprises peuvent alors calculer leurs profits qu'elles distribuent partiellement à leurs propriétaires (certains ménages désignés arbitrairement au début de la simulation).

Elles conservent l'autre part pour l'autofinancement de la production.

2.2 Stratégies de fixation des prix par les entreprises sur le marché des biens

Au début de chaque période, chaque entreprise décide d'augmenter ou de baisser le prix auquel elle proposera sa production sur le marché des biens.

Cette décision dépendra de cinq variables propres à chacune des entreprises :

- μ la propension à utiliser le *cost-plus-pricing*,
- \bar{m} le niveau du mark-up attendu,
- s le niveau des stocks,
- c le coût unitaire de la production,
- p le prix courant, prix unitaire hérité de la période précédente.

μ et \bar{m} sont des variables psychologiques, définissant la stratégie propre à l'entreprise, tandis que les variables s , c et p sont des données objectives, conséquences des décisions prises sur le marché des biens lors des périodes précédentes.

Chaque entreprise commence par choisir la technique (*demand-based-pricing* ou *cost-plus-pricing*) qu'elle va utiliser pour modifier son prix. Soit β un facteur aléatoire dont la loi est uniformément répartie sur l'intervalle $[0, 1]$.

Si $\beta < \mu$ l'entreprise utilise le *cost-plus-pricing*, sinon elle utilise le *demand-based-pricing*. La variable μ n'est rien d'autre que la probabilité d'utiliser le *cost-plus-pricing*, et $(1 - \mu)$ est la probabilité d'utiliser le *demand-based-pricing*.

2.2.1 Technique du *demand-based-pricing*

Le *demand-based-pricing* est une technique de détermination des prix basée sur le niveau de la demande.

Comme l'entreprise n'a accès à aucune information macroéconomique, elle ignore le niveau de la demande agrégée. Elle utilise le niveau de son stock de marchandises s comme indicateur du niveau de cette demande.

Si s est supérieur à quatre mois de production, l'entreprise baisse son prix. Elle l'augmente dans le cas contraire.

2.2.2 Technique du *cost-plus-pricing*

Le *cost-plus-pricing* est une technique de détermination des prix basée sur les coûts de production.

L'entreprise commence par calculer \bar{p} son objectif de prix, qui est le prix obtenu en ajoutant le mark-up attendu au coût unitaire de la production :

$$\bar{p} = c(1 + \bar{m})$$

Elle compare alors le prix courant p à l'objectif de prix \bar{p} . Si $p > \bar{p}$, elle baisse son prix. Elle l'augmente dans le cas contraire.

2.3 Processus d'adaptation des entreprises

Les entreprises les moins profitables observent les autres entreprises, et sélectionnent les entreprises les plus profitables. Elles adoptent une stratégie nouvelle, imitant et dépassant les stratégies des entreprises sélectionnées.

2.3.1 Profitabilité

L'objectif du processus d'adaptation auquel sont soumises les entreprises est l'amélioration de leur profitabilité. Comme dans la version actuelle du modèle toutes les entreprises sont de même taille, cette profitabilité est simplement la somme des dividendes versés par l'entreprise au cours des 48 derniers mois.

2.3.2 Sélection

On sélectionne au hasard dix entreprises parmi les entreprises peuplant la simulation.

Notons A et B les entreprises les plus profitables de la sélection, C l'entreprise la moins profitable de la sélection. Notons S_A , S_B et S_C les stratégies de fixation des prix de chacune de ces entreprises. L'entreprise C va abandonner sa stratégie et adopter une nouvelle stratégie inspirée des stratégies S_A et S_B .

On rappelle qu'une stratégie est définie par un couple de paramètres réels (μ, \bar{m}) , μ représentant la propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing* et \bar{m} le mark-up attendu.

2.3.3 Imitation

Pour simuler un processus d'imitation, on calcule la stratégie S_G , barycentre des stratégies S_A et S_B , pondérées par un facteur α :

$$S_G = \alpha S_A + (1 - \alpha) S_B \quad (1)$$

où α est un facteur aléatoire dont la loi est uniformément répartie sur l'intervalle $[0, 1]$.

La stratégie S_G est donc aléatoirement située, dans l'espace des paramètres définissant les stratégies des entreprises, sur le segment de droite $[S_A, S_B]$. La présence du facteur aléatoire α permet d'accroître la diversité des stratégies générées en explorant l'intervalle des stratégies intermédiaires entre les deux stratégies modèles.

2.3.4 Innovation

Si l'entreprise C adoptait simplement la stratégie S_G , la population des entreprises ne pourrait jamais explorer de stratégie située en dehors de l'en-

veloppe convexe des stratégies initiales.

Pour simuler un processus d'innovation, on calcule la stratégie S'_C , image de la stratégie S_C par l'homothétie h de centre S_G et de rapport $k = -|\gamma|$, γ étant une variable aléatoire gaussienne d'espérance nulle.

En adoptant la stratégie S'_C , l'entreprise C fait l'hypothèse que les entreprises A et B lui donnent la direction dans laquelle existent des stratégies supérieurement profitables. Le rapport k peut être considéré comme la mesure de l'audace de l'entreprise, audace qui la conduit à tenter de dépasser le comportement moyen modèle S_G .

2.3.5 Itération

Chaque mois, ce processus d'adaptation (sélection, imitation, innovation) est appliqué à deux entreprises. En 48 mois (durée sur laquelle est calculée la profitabilité d'une stratégie), 96 entreprises auront donc adapté leur stratégie, soit 38,4% des 250 entreprises présentes dans la simulation.

3 Simulations

Par une série de simulations, on explore le rôle joué par les stratégies de détermination des prix des entreprises dans l'émergence d'une stabilité macroéconomique, avec une attention particulière pour la dynamique de la répartition des revenus.

Dans une première simulation, on impose aux entreprises d'utiliser exclusivement la technique du *demand-based-pricing* (section 3.1). On observe alors, en l'absence de toute coordination centralisée, l'émergence d'une stabilité de long terme de la part des profits dans le revenu.

Dans une deuxième simulation, on permet aux entreprises de choisir entre la technique du *demand-based-pricing* et celle du *cost-plus-pricing*, tout laissant fixé à un taux très faible le mark-up attendu (section 3.2). On observe alors que la concurrence pousse les entreprises à adopter une stratégie mixte, modérant leurs marges et réduisant la part des profits.

Dans une troisième simulation, non seulement les entreprises peuvent choisir entre la technique du *demand-based-pricing* et celle du *cost-plus-pricing*, mais encore elles peuvent déterminer librement le niveau du mark-up attendu (section 3.3). On observe l'émergence d'une nouvelle stratégie dans

laquelle le *cost-plus-pricing* tient une place essentielle. Néanmoins le niveau moyen des profits reste contraint par le niveau de la demande.

3.1 Simulation 1 (pas d’adaptation)

Dans cette première simulation, le comportement des entreprises n’évolue pas. Les comportements des entreprises sont donc simplement réactifs.

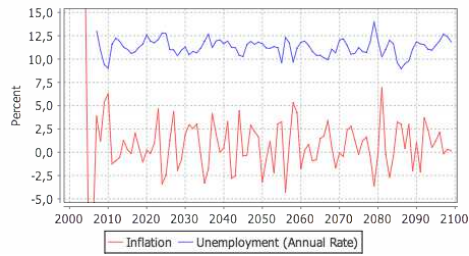
Paramètre	Valeurs initiales	Adaptatif	Valeurs limites
μ	[0%, 0%]	non	[0%, 0%]
m	[0%, 10%]	non	[0%, 10%]

TAB. 1: Simulation 1, paramètres

En fixant à 0 le niveau de la propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing*, on s’assure que les entreprises utilisent exclusivement la technique du *demand-based-pricing*. C’est donc uniquement le niveau de ses propres stocks qui gouverne le prix de chacune des entreprises, et le niveau de mark-up attendu par les entreprises ne joue aucun rôle dans cette première simulation.

Les principaux indicateurs macroéconomiques montrent que le système se stabilise très rapidement après le début de la simulation. Le chômage oscille entre 10 et 13%, l’inflation entre -3 et +5% (figure 1a). Le taux d’utilisation des capacités de production reste compris entre 72 et 78% (figure 1d). Les faillites sont peu nombreuses (figure 1f) et n’affectent pas sensiblement les fonds propres de la banque (figure 1e). Dans ces conditions, le mark-up effectif s’établit aux alentours de 65% et la part des profits s’élève à plus de 40% du revenu (figures 1g et 1h).

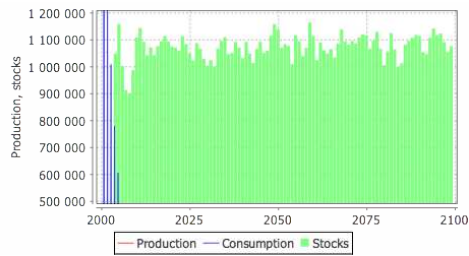
Pourtant, rien dans le comportement assigné aux entreprises ne permettait d’anticiper la stabilité de la répartition des revenus entre salaires et profits. Nous avons vu que les entreprises fixent les prix et les salaires de façon strictement indépendante. En particulier, chaque entreprise ignore ses coûts et peut très bien vendre sa production en dessous de son coût de production (ce dernier étant essentiellement formé par le paiement des salaires). Pourtant, on observe que le prix moyen sur le marché des biens s’établit au dessus du coût de production à un niveau stabilisant le taux de marge moyen des entreprises et, par là, stabilisant la part des profits dans le revenu. La stabilité de long terme de la répartition des revenus entre salaires et profits,



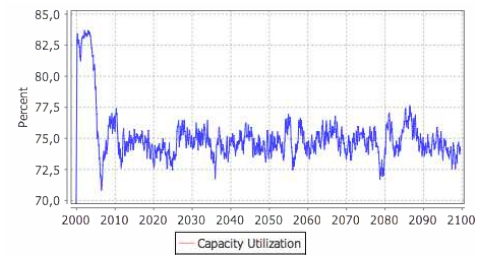
(a)



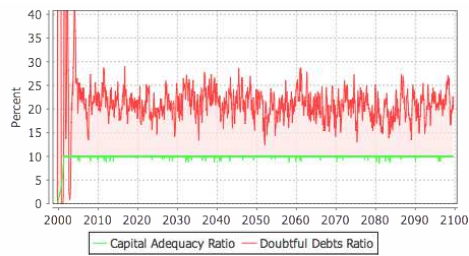
(b)



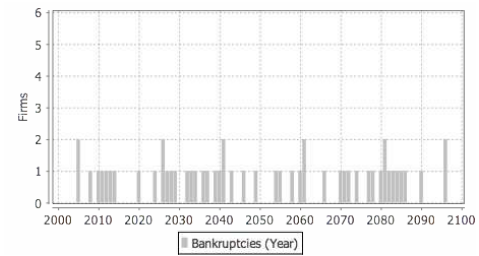
(c)



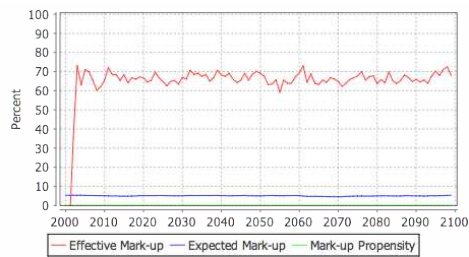
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

FIG. 1: Principaux indicateur macroéconomiques (simulation 1, 2000-2100)

principale manifestation de l'équilibre macroéconomique du modèle, est donc une propriété émergente du modèle, témoignant de l'existence d'une coordination macroscopique entre la formation des prix sur le marché des biens et la formation des salaires sur le marché du travail.

3.2 Simulation 2 (adaptativité partielle)

La simulation débute avec des entreprises dont le comportement est très proche de celui des entreprises de la simulation précédente. Comme dans la première simulation, elles utilisent essentiellement le niveau des stocks comme indicateur du niveau de la demande pour décider de baisser ou d'augmenter leur prix (*demand-based-pricing*).

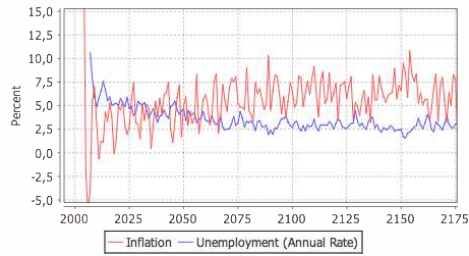
Cependant, les entreprises peuvent maintenant avoir recours au *cost-plus-pricing* (une fois sur 10 en moyenne). De plus, les entreprises ont la capacité de faire évoluer cette propension à utiliser le *cost-plus-pricing*, selon les processus d'imitation et d'innovation décrits dans la première partie. En revanche, le niveau du mark-up attendu par les entreprises lorsqu'elles utilisent la technique du *cost-plus-pricing* n'évolue pas : il est fixé à un niveau à peine positif (5% en moyenne).

Paramètre	Valeurs initiales	Adaptatif	Valeurs limites
μ	[0%, 20%]	oui	[0%, 100%]
m	[0%, 10%]	non	[0%, 10%]

TAB. 2: Simulation 2, paramètres

Avec un mark-up attendu aussi faible, le recours occasionnel à la technique du *cost-plus-pricing* ne peut avoir pour effet, en tirant les prix vers le bas, que de modérer le mark-up effectif enregistré en moyenne par les entreprises. En effet, dès les premières années de la simulation, on constate que le mark-up effectivement constaté s'abaisse nettement en dessous des niveaux observés dans la simulation précédente (figure 2g) avec un mark-up effectif de 50% contre 65% dans la première simulation. La part des profits n'est plus que de 35% (figure 2h) contre plus de 40% dans la première simulation.

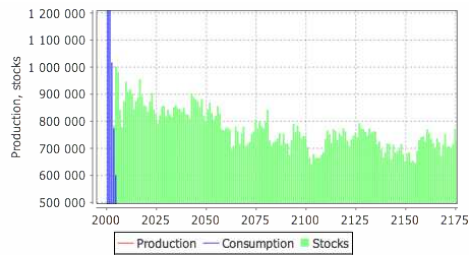
Cette modification du comportement des entreprises n'affecte pas seulement la part des profits, mais aussi l'ensemble des variables macroéconomiques du système (figures 2a à 2f). Logiquement, la modération des marges



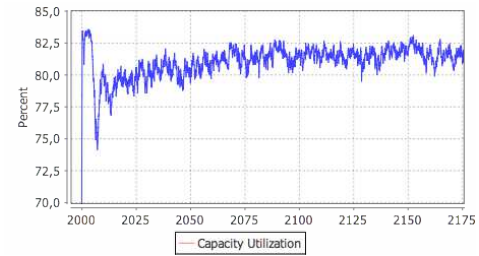
(a)



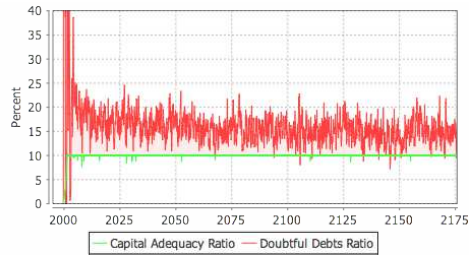
(b)



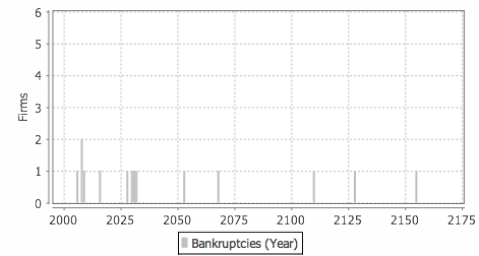
(c)



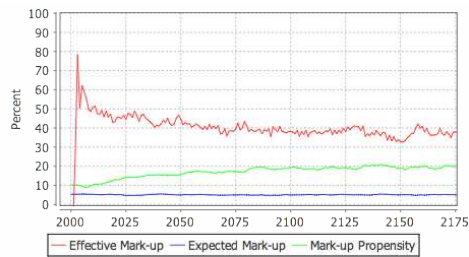
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

FIG. 2: Principaux indicateur macroéconomiques (simulation 2, 2000-2175)

des entreprises alimente la demande et on observe une activité plus soutenue que dans la simulation précédente. Le taux d'utilisation des capacités de production s'élève à 80% (figure 2d) et le chômage est ramené aux environs de 5% (figure 2a). Du coup, on observe une hausse de l'inflation qui oscille entre 0 et 5%, conséquence indirecte et paradoxale de la modération des marges des entreprises.

La suite de la simulation permet d'observer une évolution du comportement des entreprises vers un recours plus fréquent à la technique du *cost-plus-pricing*. La moyenne de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing*, qui était de 10% au début de la simulation, s'élève progressivement pour atteindre 17% en 2075. Elle oscille ensuite dans l'intervalle [16%, 21%]. Ce résultat est contre-intuitif. On aurait pu penser qu'avec un mark-up attendu fixé à un niveau si faible, les entreprises auraient tendance à réduire au maximum le recours à la technique du *cost-plus-pricing* plutôt qu'à l'augmenter.

Cependant, cette élévation de propension à utiliser le *cost-plus-pricing* reste limitée : les entreprises tendent à adopter une combinaison des techniques du *cost-plus-pricing* et du *demand-based-pricing* dans laquelle la dernière continue à jouer un rôle essentiel. Dans ces conditions, et avec un niveau de mark-up attendu très inférieur au mark-up constaté, l'utilisation de la technique du *cost-plus-pricing* joue dans un seul sens, celui de la modération des prix. Ainsi, les entreprises tendent à adopter un comportement de détermination des prix dissymétrique impliquant sinon une rigidité, du moins une viscosité des prix à la hausse.

On se demande pourquoi les entreprises, bien que dotées d'un mécanisme d'adaptation orientée vers l'accroissement de la profitabilité, adoptent des comportements qui viennent réduire leur marge, et par là leur profitabilité moyenne. On interprète cette évolution comme la conséquence de la compétition entre les entreprises. Parce que les entreprises qui pratiquent des prix moins élevés emportent des parts de marché au détriment des autres, le comportement de modération des prix faisant appel au *cost-plus-pricing* apparaît comme plus profitable. Les entreprises les plus chères sont alors poussées à imiter et même à dépasser le comportement des entreprises les moins chères. C'est ainsi que se développe un mouvement simultané d'élévation de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* et de baisse du mark-up effectif, et donc de baisse de la part des profits dans le revenu.

Si l'on considère le secteur des entreprises indépendamment du contexte macroéconomique, ce mouvement de baisse des profits ne semble pas devoir s'interrompre. Pourtant on observe une stabilisation progressive après 2075,

avec une part des profits oscillant autour de 29% du revenu. L'économie atteint au même moment un niveau d'activité soutenu avec un taux d'utilisation des capacités de production qui dépasse 81%. Le chômage est faible (autour de 3%) et l'inflation élevée (entre 4 et 8%).

Cette hausse de l'activité explique la stabilisation de la part des profits. Lorsque la demande est telle que les entreprises ont du mal à la satisfaire, l'économie est proche de la surchauffe. La lutte pour la défense et la conquête de parts de marché devient moins aiguë. Les entreprises ont moins intérêt à tirer les prix vers le bas et la hausse de la propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing* s'interrompt.

La stabilisation du comportement des entreprises reste relative, les oscillations de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* montrant que les mécanismes d'adaptation restent en oeuvre, alors que la situation macroéconomique (chômage, inflation) connaît elle-même des fluctuations. Mais sur le long terme, le système paraît bien s'être stabilisé.

3.3 Simulation 3 (adaptativité étendue)

Dans cette troisième simulation, on laisse évoluer non seulement la propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing*, mais aussi le niveau du mark-up attendu par les entreprises. Les comportements initiaux sont les mêmes que dans la deuxième simulation (table 3).

Paramètres	Valeurs initiales	Adaptatif	Valeurs limites
μ	[0%, 20%]	oui	[0%, 100%]
m	[0%, 10%]	oui	$[-\infty, +\infty]$

TAB. 3: Simulation 3, paramètres

L'évolution du comportement des entreprises suit un trajet non-linéaire, illustrant l'émergence soudaine d'une nouvelle stratégie de détermination des prix (figures 3a et 4) dont on étudie l'impact sur la part des profits (figure 3b).

Dans une première période (jusque vers 2060) la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* s'élève lentement sans que le niveau du mark-up attendu n'évolue sensiblement. Le déroulement de la simulation est alors très semblable à celui de la simulation précédente, dans laquelle les entreprises utilisaient de temps en temps la technique du *cost-plus-pricing* pour corriger à

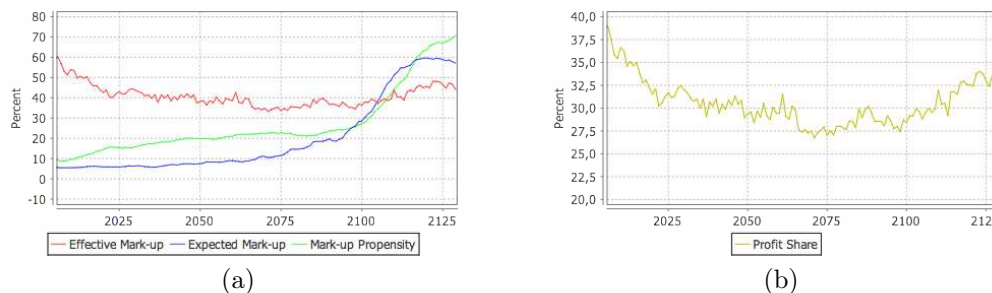


FIG. 3: Stratégies des entreprises et part des profits (simulation 3, 2000-2130)

la baisse les variations de prix générées par la technique du *demand-based-pricing*.

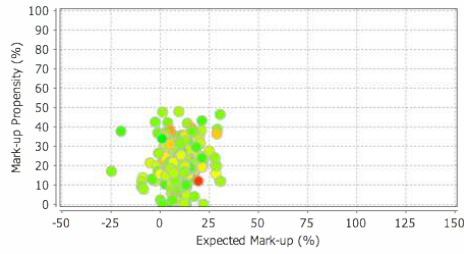
Puis, aux alentours de 2080, certaines entreprises pionnières expérimentent des niveaux de mark-up plus élevés, proches du mark-up effectif moyen (figures 4b, 4c et 4d). Ces entreprises obtiennent des profits supérieurs et sont imitées par d'autres entreprises.

Vers 2100, tandis que la masse des entreprises évolue progressivement en augmentant le niveau de mark-up, certaines d'entre elles augmentent leur propension à utiliser la technique du *cost-plus-pricing* (figure 4e).

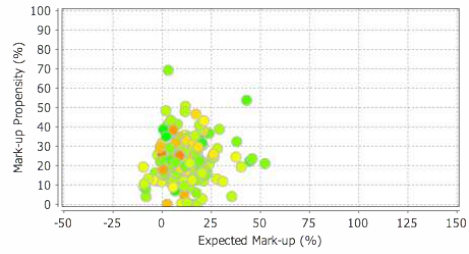
La technique du *cost-plus-pricing*, combinée avec un niveau du mark-up attendu proche du mark-up moyen effectivement constaté sur le marché, apparaît comme supérieurement profitable et les premières entreprises qui ont exploré cette direction sont rapidement rejointes et dépassées par les autres (figures 4f, 4g et 4h).

En 2106, le mark-up attendu en moyenne par les entreprises dépasse le mark-up effectivement constaté. En 2115, la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* dépasse 50 pour cent. L'évolution combinée de ces deux paramètres conduit à un renversement du rôle des deux techniques de détermination des prix : à présent, l'usage de la technique du *cost-plus-pricing* conduit les entreprises à pratiquer des prix supérieurs à ceux du marché, tandis que c'est le *demand-based-pricing* qui sert de modérateur.

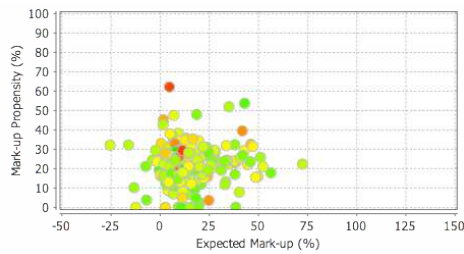
Au niveau macroéconomique, ce changement de comportement des entreprises leur permet d'améliorer le mark-up effectif moyen : d'environ 35% dans les années 2070, il dépasse 45% dans les années 2120. La part des profits, qui s'était abaissée à 27% du revenu, se redresse et dépasse 33% dans les années 2120.



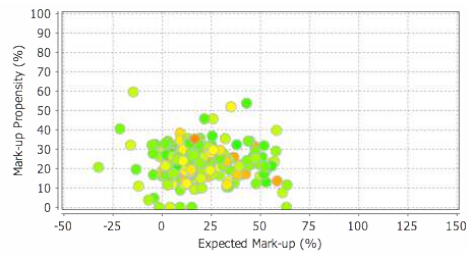
(a) 2060



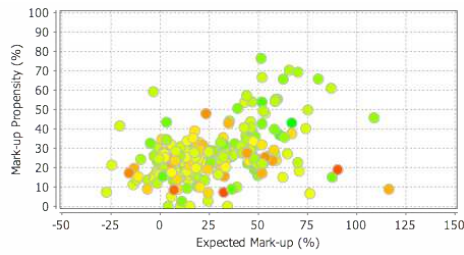
(b) 2070



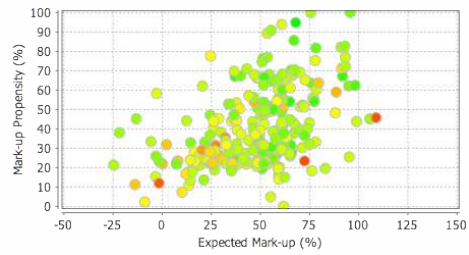
(c) 2080



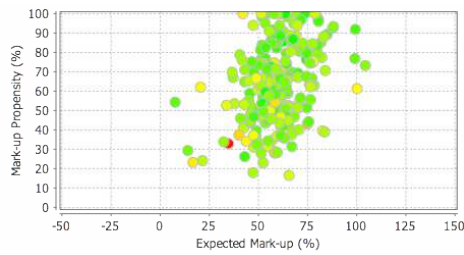
(d) 2090



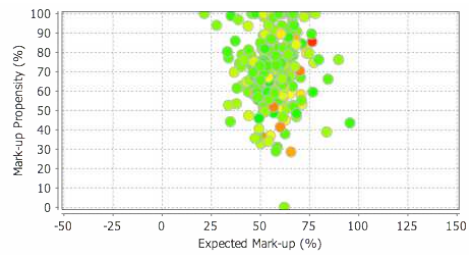
(e) 2100



(f) 2110



(g) 2120



(h) 2130

FIG. 4: Stratégies de fixation des prix (simulation 3, 2000-2130). Les points rouges représentent les stratégies les moins profitables.

Cependant, le mark-up attendu interrompt sa croissance dès 2120 puis régresse ensuite lentement, suivi à partir de 2125 par le mark-up effectif. La propension à utiliser le *cost-plus-pricing*, elle, continue à s'élever. L'étude des principaux indicateurs macroéconomiques vient éclairer cette évolution du comportement des entreprises.

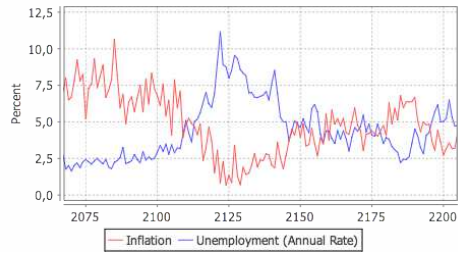
Entre 2070 et 2100 l'économie connaissait une période d'activité soutenue, avec un taux de chômage compris entre de 1.5% et 3.5% et une inflation annuelle comprise entre 4% et 11% (figure 5a). L'augmentation des marges des entreprises — et donc de la part des profits — sensible à partir de 2100, pèse sur le salaire réel (figure 5b). L'augmentation du niveau des stocks témoigne de la difficulté des entreprises à écouler leur production (figure 5c). Comme dans le même temps, les entreprises ont tendance à utiliser plus fréquemment le *cost-plus-pricing*, elles peuvent moins facilement utiliser le *demand-based-pricing* pour limiter la hausse des stocks. Elles sont donc conduites à réduire leur niveau de production (figure 5d).

Le chômage augmente tandis que l'inflation ralentit. Le ralentissement de l'activité pèse sur la demande et accroît les difficultés des entreprises. La part des créances douteuses augmente dans le bilan bancaire (figure 5e) et les faillites se multiplient (figure 5f). Si on examine de plus près chacune de ces faillites, on constate que toutes les entreprises touchées pratiquaient un mark-up supérieur à la moyenne.

Dans ce contexte de crise et face à une demande affaiblie, les entreprises dont le mark-up attendu est moins élevé que la moyenne écoulent plus facilement leur production et apparaissent maintenant plus profitables. Celles dont le mark-up est plus élevé, si elles ont échappé à la faillite, modifient leur stratégie et abaissent à leur tour leur mark-up. De 2125 à 2150, le mark-up attendu passe de 59% à 53%, tandis que le mark-up effectif passe de 48% à 41%. Au cours de la même période, la propension à utiliser le *cost-plus-pricing* continue à s'élever, passant de 67,5% à 82,5% (figure 5g).

Dès 2125, la baisse du mark-up effectif entraîne une reprise progressive de la demande, et les stocks diminuent. Les entreprises recommencent à embaucher. Le chômage diminue et l'inflation passe de 1% en 2125 à 5% en 2150. Comme dans la deuxième simulation, la baisse de la part des profits conduit à une reprise de l'activité, reprise qui vient elle-même interrompre la baisse de la part des profits (figure 5h).

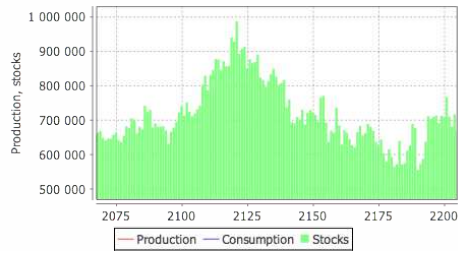
Cette boucle de rétroaction négative explique la stabilisation du système observable après 2150. A partir de cette date, le mark-up effectif moyen oscille entre 35 et 45%, avec une part des profits comprise entre 27% et 33%



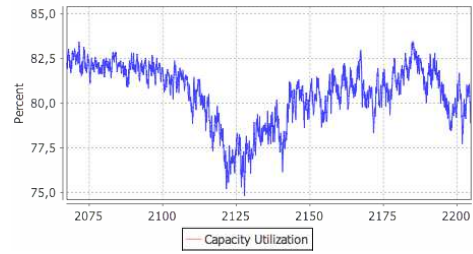
(a)



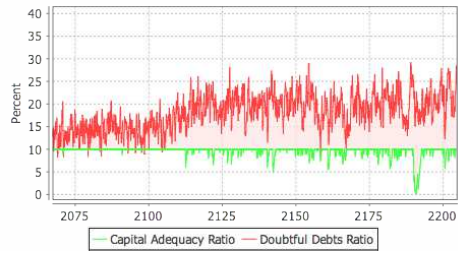
(b)



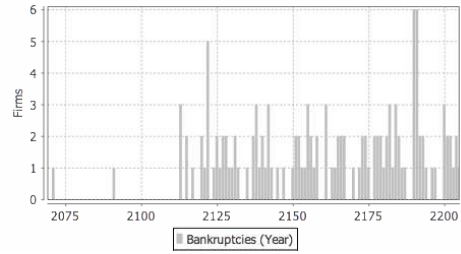
(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

FIG. 5: Principaux indicateur macroéconomiques (simulation 3, 2070-2200)

du revenu — un niveau semblable à celui obtenu dans la deuxième simulation. Le mark-up attendu reste compris en 52,5 et 56%. La propension à utiliser le *cost-plus-pricing* reste comprise entre 82 et 90%. Au niveau macroéconomique, l'activité est soutenue, avec un taux d'utilisation des capacités de production autour de 80%, un chômage compris entre 2,5 et 7,5%, une inflation comprise entre 2,5 et 7,5%.

Néanmoins, on observe que les faillites restent beaucoup plus fréquentes qu'elles ne l'étaient avant 2100. On impute cette fragilité au niveau élevé de la propension à utiliser le *cost-plus-pricing*. Les prix des entreprises sont moins flexibles. Les entreprises s'adaptent moins facilement aux fluctuations de court terme de la demande que lorsque elles utilisaient plus fréquemment le *demand-based-pricing*.

4 Conclusion

Nous avons construit un modèle macroéconomique qui s'oppose radicalement aux modèles néoclassiques d'équilibre général.

Il s'y oppose par la place essentielle accordée à la monnaie dans sa construction. La monnaie est d'emblée intégrée au modèle : toute transaction, sur le marché des biens comme sur le marché du travail, est simultanément réelle et monétaire. Toute la monnaie qui circule dans ce modèle est endogène : créée par le crédit bancaire pour le financement de la production, elle disparaît dans son remboursement.

Ce modèle s'oppose aussi aux modèles néoclassiques par la place accordée aux agents, multiples, hétérogènes, autonomes et concurrents. Les marchés ne sont rien d'autre que des lieux où les agents établissent des relations directes et décentralisées.

Ce modèle est celui d'une économie dynamique et complexe. Son comportement macroéconomique n'est pas postulé, mais émerge au contraire des interactions réelles et monétaires entre les agents. La stabilité du partage du revenu entre salaires et profits constitue un aspect remarquable de ce comportement.

La première simulation était peuplée avec des entreprises simplement réactives, ajustant leurs prix selon la technique du *demand-based-pricing*. Bien que dans cette simulation chaque entreprise ignore ses coûts de production et n'utilise que le niveau de ses propres stocks pour juger du niveau de la demande, on a observé l'émergence d'un régime de prix assurant en moyenne

aux entreprises une marge stable. Cette stabilité témoigne de l'existence, au niveau macroéconomique, d'un rapport stable entre le niveau de la demande agrégée et celui de la masse des salaires et donc d'un rapport stable entre profits et salaires.

La deuxième simulation était peuplée avec des entreprises adaptatives, capables de choisir entre *demand-based-pricing* et *cost-plus-pricing* pour améliorer leur marge et distribuer plus de profits. Toutefois le mark-up attendu restait fixé à un niveau très faible. Cette simulation, destinée à l'origine à tester les capacités d'adaptation des entreprises, a permis d'observer tout un enchaînement d'émergences :

- la concurrence entre les entreprises les conduit à 'inventer' une stratégie mixant *demand-based-pricing* et *cost-plus-pricing* par laquelle elles réduisent leurs marges effectives pour conquérir de nouvelles parts de marché,
- la généralisation de cette stratégie — bien qu'elle soit supérieurement profitable au niveau micro — conduit collectivement les entreprises à baisser leurs marges et donc la part des profits au niveau macro,
- la baisse de la part des profits entraîne une hausse de la demande,
- la hausse de la demande vient détendre la concurrence entre les entreprises, interrompre la baisse des marges, et stabiliser la part des profits.

La troisième simulation était celle qui laissait aux entreprises le plus de liberté dans le choix de leur stratégie, puisqu'elles pouvaient à présent non seulement choisir entre *demand-based-pricing* et *cost-plus-pricing*, mais aussi déterminer le niveau du mark-up attendu. On a observé alors l'émergence d'une nouvelle stratégie qui supprime les autres et s'impose comme une norme de comportement. Cette stratégie est dominée par le *cost-plus-pricing*, pour un mark-up attendu nettement supérieur au mark-up constaté, tandis que le *demand-based-pricing* n'a plus qu'un rôle secondaire de modérateur des prix. Ainsi la concurrence entre les entreprises, conjuguée à l'exigence de profits maximum, les pousse-t-elle à adopter une technique de détermination des prix qui garantit une marge stable, tout en gardant une certaine flexibilité pour faire face aux variations des stocks.

On a encore observé que le niveau du mark-up attendu, même s'il s'élève au dessus du mark-up effectif, ne parvient pas à modifier celui-ci de plus de quelques points. En effet, par un mécanisme inverse de celui observé dans la deuxième simulation, l'élévation de la part des profits entraîne un affaiblissement de la demande, un accroissement de la concurrence, et donc une modération des marges des entreprises.

Dès lors, l'élément stable du système paraît bien être le mark-up effectif, lui-même déterminé par la part des profits dans le revenu, elle-même déterminée par le niveau de la demande par rapport à la masse des salaires. Le comportement des entreprises est contraint par cette stabilité macro-économique et leur évolution les conduit à s'y conformer. Lorsque, dans la troisième simulation, les entreprises tentent collectivement d'élever le mark-up loin au-dessus de son niveau effectif, la hausse des créances douteuses et la multiplication des faillites montrent que la poursuite dans cette voie ne pourrait que conduire le système à la crise.

La stabilité de la part des profits paraît donc être une propriété d'emblée macroéconomique que les changements de comportement des entreprises ne peuvent au mieux que faire fluctuer d'une dizaine de points.

Dans ce modèle, au contraire des modèles kaleckiens, les entreprises ne sont pas 'maîtres de leur propre destin'.

Il est vrai que, dans sa version actuelle, le modèle contient un élément de stabilité exogène fort — il n'y a pas d'investissement, le stock de capital productif est constant, il n'y a pas de croissance. Le relâchement de cette hypothèse et la construction d'un modèle dynamique et complexe de croissance endogène constitue notre prochain objectif.

Références

- Arthur, W. Brian (2006) Out-of-Equilibrium Economics and Agent-Based Modeling. In Leigh Tesfatsion & Kenneth L. Judd (ed.), *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2, pp. 1551-1564. Amsterdam : Elsevier/North-Holland.
- Jean-Marc Alliot & Nicolas Durand (2005) Algorithmes génétiques.
- Thomas Brener (2006) Agent Learning Representation : Advice on Modelling Economic Learning. In Leigh Tesfatsion & Kenneth L. Judd (ed.), *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2, pp. 895-947. Amsterdam : Elsevier/North-Holland.
- Mark Buchanan (2009) "Meltdown modelling. Could agent-based computer models prevent another financial crisis?", *Nature*, Vol. 460, August 6, pp. 680-682.
- J. Doyne Farmer & John Geanakoplos (2009a) "The Virtues and Vices of Equilibrium and the Future of Financial Economics", *Complexity*, 14(3), pp. 11-38.

- J. Doyne Farmer & Duncan Foley (2009b) “The economy needs agent-based modelling”, *Nature*, Vol. 460, August 6, pp. 685-686.
- Wynne Godley & Marc Lavoie (2007) *Monetary Economics. An Integrated Approach to Credit, Money, Income, Production and Wealth* Basingstoke, UK and New York, USA : Palgrave Macmillan.
- Augusto Graziani (2003a) Microéconomie et macroéconomie : à qui la priorité? In Pierre Piégay & Louis-Philippe Rochon (ed.), *Théories Monétaires Post Keynésiennes*. Paris : Economica.
- Augusto Graziani (2003b) *The Monetary Theory of Production* Cambridge : Cambridge University Press.
- Peter Howitt (2008) Macroeconomics with intelligent autonomous agents. In Roger E.A. Farmer (ed.), *The Small and the Large : Essays on Microfoundations, Macroeconomic Applications and Economic History in Honor of Axel Leijonhufvud*. Cheltenham : Edward Elgar.
- John Maynard Keynes (1936) *The General Theory of Employment, Interest and Money*. London : Macmillan.
- John Maynard Keynes (1938) Letter to Harrod. In *Collected Writings of J.M. Keynes*, volume XIV. London : Macmillan, 1973.
- Marc Lavoie (1996). Mark-up Pricing versus Normal Cost Pricing in Post-Keynesian Models. *Review of Political Economy*, 8(1), p 57
- Axel Leijonhufvud (2006) Agent-based macro. In Leigh Tesfatsion & Kenneth L. Judd (ed.), *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2, pp. 1625-1637. Amsterdam : Elsevier/North-Holland.
- Julio Lopez and Michael Assous (2010) *Michal Kalecki*, Londres : Palgrave MacMillan.
- Thomas I. Palley (2003) Monnaie endogène : signification et portée In Pierre Piégay & Louis-Philippe Rochon (ed.), *Théories Monétaires Post Keynésiennes*. Paris : Economica.
- Malcom Sawyer (1985) *The Economics of Michal Kalecki*, Londres : Macmillan.
- Pascal Seppecher (2009) Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène. *Working Paper*, 2009-11, Groupement de Recherche en Economie Quantitative d’Aix-Marseille.
- Pascal Seppecher (2010a) Dysfonctionnement bancaire, bulle du crédit et instabilité macroéconomique dans une économie monétaire dynamique et complexe. *La revue économique*, Vol. 61, No. 3.
- Pascal Seppecher (2010b) Flexibility of wages and macroeconomic instability in an agent-based computational model with endogenous mo-

- ney. (forthcoming).
- Mark Setterfield (1996) A note on Mark-up Pricing and the Distribution of Income. *Review of Political Economy*, 8(1), p 79.
 - Leigh Tesfatsion (2006) Agent-based computational economics : a constructive approach to economic theory. In Leigh Tesfatsion & Kenneth L. Judd (ed.), *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2, pp. 831-879. Amsterdam : Elsevier/North-Holland.
 - Thomas Vallée & Murat Yildizoglu (2001) “Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie” *Document de travail* n° 2001-3, IFREDE-E3i, Université Montesquieu Bordeaux IV, septembre.
 - Nicolaas J. Vriend (2006) ACE models of endogenous interactions. In Leigh Tesfatsion & Kenneth L. Judd (ed.), *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2, pp. 1047-1079. Amsterdam : Elsevier/North-Holland.
 - L. Randall Wray (2003) L’approche post-keynésienne de la monnaie In Pierre Piégay & Louis-Philippe Rochon (ed.), *Théories Monétaires Post Keynésiennes*. Paris : Economica.