



**HAL**  
open science

# Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène

Pascal Sepecher

► **To cite this version:**

Pascal Sepecher. Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène. 2009. halshs-00370716v1

**HAL Id: halshs-00370716**

**<https://shs.hal.science/halshs-00370716v1>**

Preprint submitted on 24 Mar 2009 (v1), last revised 23 May 2009 (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.

# Un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène

Pascal SEPPECHER\*

\*Groupement de Recherche en Economie Quantitative d'Aix-Marseille  
(GREQAM)

Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II

p.seppecher@free.fr

Mars 2009

## Résumé

Nous présentons un modèle<sup>1</sup> macroéconomique multi-agents dans lequel la création et la destruction de monnaie résultent des interactions entre les agents. Il est l'ébauche d'un modèle plus complet, destiné à évaluer par la simulation l'impact économique et social des politiques macroéconomiques. Dans ce modèle simplifié, toute la monnaie est une monnaie scripturale créée par le crédit bancaire pour le financement de la production. Nous trouvons que ce modèle rend compte de certains traits essentiels d'une économie capitaliste industrielle et en particulier de la possibilité de la réalisation en monnaie d'un profit macroéconomique.

## 1 Introduction

Selon Arthur [1], l'application de la démarche multi-agents à l'économie (*Agent-based Computational Economics* ou *ACE*) ne constitue pas un simple complément à l'économie néoclassique mais bien un mouvement significatif de la pensée économique. La modélisation multi-agents permet de prendre en compte le caractère endogène des interactions entre les agents, et cela est essentiel pour la compréhension du système étudié (Vriend [25]). Pour Leijonhufvud [13], une économie est un système complexe, dynamique, adaptatif, évolutionniste et l'approche multi-agents constitue le seul moyen d'en explorer les propriétés et d'avancer ainsi dans la compréhension du monde économique réel. Pour Tesfatsion [24], les modèles multi-agents se situent à un niveau d'abstraction moins élevé que les modèles analytiques standards et permettent d'éprouver la robustesse des théories macroéconomiques par un relâchement de leurs hypothèses. Cependant, l'approche des *ACE* s'est surtout focalisée jusqu'à présent sur l'étude de dynamiques microéconomiques ou sectorielles — telles que la dynamique des marchés (Rouchier [23]) — et son application à la macroéconomie n'en est qu'à ses débuts (Brandouy et al. [3]).

C'est dans le cadre de ce mouvement de recherche naissant que nous présentons un modèle macroéconomique multi-agents avec monnaie endogène. Dans la sphère réelle, les relations entre les agents ne se limitent pas à l'échange des marchandises, mais intègrent la production et la consommation de ces marchandises. De même dans la sphère monétaire, les relations entre agents ne peuvent être réduites à la circulation de la monnaie, mais doivent intégrer aussi la création et la destruction

---

<sup>1</sup>Le développement de ce modèle fait l'objet d'une thèse de doctorat au GREQAM sous la direction du professeur Christophe Deissenberg. Ce modèle a été présenté au Centre d'Etudes en Macroéconomie et Finance Internationale (CEMAFI - Université de Nice Sophia Antipolis) le 21 mai 2008, puis, dans une version plus complète intégrant la possibilité de faillites effectives des entreprises et du système bancaire, au CEMAFI le 30 octobre 2008 et à la Banque Européenne d'Investissement (BEI - Luxembourg) le 13 décembre 2008. La dernière version de ce modèle est téléchargeable sous la forme d'une application Java sur <http://p.seppecher.free.fr/jamel/>.

de cette monnaie. L'enjeu est de construire un modèle capable de rendre compte de ce dualisme du réel et du monétaire. Le parallélisme que nous établissons entre les sphères réelle et monétaire nous conduit à les considérer comme deux systèmes interdépendants mais distincts, parce que chacun doté de règles qui lui sont propres. Les agents, placés à l'interface, assurent et subissent les interactions entre ces deux systèmes.

La pensée keynésienne apparaît alors comme un point d'appui essentiel pour le modélisateur multi-agents (Bruun [4]). En effet, la pensée keynésienne refuse d'isoler la théorie monétaire du reste de l'analyse macroéconomique. Les auteurs de l'école du 'circuit monétaire post keynésien' prennent explicitement en compte le fait que la monnaie est créée par les banques dans leur activité de crédit aux entreprises, et que cette monnaie disparaît dans le remboursement du crédit. L'analyse du circuit rejette la relation micro-macro fondée sur l'agrégation de fonctions microéconomiques individuelles (Graziani [10]). La théorie du circuit, théorie de la monnaie endogène, développe une analyse séquentielle du système économique (Bougrine et Seccareccia [2]) et insiste sur les rapports hiérarchiques que les flux monétaires établissent entre les agents (Rochon [21], Graziani [11], Lavoie [12]). Cette analyse semble être un point de départ pertinent pour appliquer l'approche multi-agents à la modélisation d'une économie dans laquelle monnaie et production sont étroitement liées.

Néanmoins, les idées des théoriciens du circuit ne peuvent être transposées telles quelles dans un modèle multi-agents. D'abord parce que ces idées présentent des différences sensibles d'un auteur à un autre, ensuite parce que la théorie du circuit se situe encore à un niveau d'abstraction trop élevé. C'est pourquoi nous opérons un choix parmi les hypothèses du circuit en nous attachant à respecter ce qui constitue selon nous les trois axiomes fondamentaux de la théorie post-keynésienne de la monnaie :

1. la production prend du temps : les entreprises doivent payer les salaires avant d'avoir vendu le produit, elles doivent donc s'endetter auprès des banques pour pouvoir produire,
2. la monnaie est une monnaie de crédit : elle est créée par les banques lorsqu'elles prêtent aux entreprises, détruite lorsque ces crédits sont remboursés,
3. le profit est monétaire : les entreprises doivent retirer de la vente du produit plus de monnaie qu'elles n'en ont avancé dans le processus de production.

Le premier axiome permet de qualifier l'économie que nous cherchons à modéliser comme une *économie monétaire de production* c'est-à-dire une économie '*dans laquelle la production commence et finit en monnaie*' (Wray [26]).

Le second axiome permet de caractériser le modèle que nous cherchons à construire comme un modèle de la *monnaie endogène* c'est-à-dire un modèle dans lequel '*l'offre de monnaie est déterminée de manière endogène par la demande de crédit bancaire émanant des forces du marché*' (Moore [16]).

Le troisième axiome correspond à la notion d'*économie d'entrepreneurs*, c'est-à-dire une économie dans laquelle les entreprises n'ont '*pas d'autre objectif au monde que d'obtenir au bout du compte plus d'argent qu'elles n'en n'avaient au départ*' (Keynes, cité dans Gnos [9], notre traduction).

Selon les circuitistes, l'obligation de remboursement des crédits qui pèse sur chaque entreprise crée une contrainte systémique : comme la monnaie créée par le secteur bancaire doit refluer vers elle à la fin de la période pour être détruite, le circuit de base est insuffisant pour que puisse se former un profit macroéconomique et les entreprises ne sont pas en mesure de payer l'intérêt dû aux banques (Messori [14], Graziani [11], Parguez [18]). Pour rendre compte du profit et de l'intérêt, les circuitistes se voient dans l'obligation de compléter leur schéma par d'autres sources de création monétaire : crédit à l'investissement (Poulon [20], Lavoie [12], Rochon [22]) ou endettement public (Parguez [17], Forges et Realfonzo [8]).

Selon certains auteurs, si l'analyse du circuit peine à rendre compte du profit et de l'intérêt c'est parce qu'elle ne prend pas suffisamment en compte des éléments de complexité du monde réel tels que l'hétérogénéité des agents (Messori et Zazzaro [15]) et l'enchaînement des périodes dans un processus où la production prend réellement du temps (Dupont et Reus [7]). L'approche multi-agents est particulièrement adaptée pour prendre en compte de tels éléments de complexité.

Alors que la formalisation algébrique conduit les circuitistes à raisonner au niveau mésoécono-

mique (Lavoie [12]) avec un seul agent représentant l'ensemble des entreprises, un seul agent représentant l'ensemble des ménages, un seul agent représentant l'ensemble des banques, nous proposons un modèle informatique supportant plusieurs centaines d'agents (entreprises et ménages) hétérogènes en interaction. Seul le secteur bancaire, dans la version actuelle du modèle, reste représenté par une banque unique. De même, la théorie du circuit s'attache à raisonner sur une période abstraite unique et refermée sur elle-même, dans laquelle se confondent la durée du crédit à la production et la durée d'un cycle de production. Nous proposons un modèle dans lequel les périodes s'enchaînent les unes aux autres selon un processus irréversible et sont définies concrètement comme le laps de temps séparant deux paiements consécutifs des salaires. La durée du cycle de production et la durée du crédit sont des variables du modèle, et peuvent différer l'une de l'autre.

Nous construisons ainsi un modèle macroéconomique basé sur les agents, avec monnaie endogène, rendant compte du profit et de l'intérêt. Nous pouvons alors étudier le comportement du système selon une démarche expérimentale. On soumet le système à des stimulations externes et on analyse les réponses observées. On met ainsi en évidence certaines de ses propriétés.

## 2 Le modèle

Ce modèle est implémenté en Java, langage orienté objet multi-plateforme.

### 2.1 Caractéristiques générales

Dans sa version actuelle, le modèle est celui d'une économie dans laquelle :

- le crédit bancaire est la seule source de création monétaire,
- le financement de la production est le seul motif du crédit,
- les salaires sont le seul coût de production (pas de consommation intermédiaire),
- les entreprises ne produisent qu'un seul bien, qui est un bien de consommation,
- le stock de capital productif est donné (pas d'investissement, pas d'obsolescence),
- la propriété du capital est figée (pas de marché financier),
- le nombre d'agents est donné,
- il n'existe pas d'échanges réels ou monétaires avec le reste du monde.

Le modèle est peuplé de trois classes d'agents, chacun assumant différents rôles au cours d'une même période.

#### 2.1.1 Les rôles des agents

Le modèle comporte trois types d'agents actifs : les entreprises, les ménages et la banque. Chaque agent (y compris la banque elle-même) dispose d'un compte courant auprès de la banque. La banque tient un rôle essentiel de gestionnaire des moyens de paiement, intermédiaire obligatoire pour tous les autres agents dans leurs relations monétaires. Entreprises et ménages se rencontrent sur le marché du travail et sur le marché des biens de consommation.

Le tableau 1 page 4 résume les rôles joués par chaque groupe d'agents et la nature des flux par lesquels ils entrent en rapport. Le diagramme de la figure 1 page 4 propose une représentation de ces interactions projetées sur deux plans parallèles.

#### 2.1.2 Déroulement d'une période

L'unité minimale de temps — la période de base du circuit — est le mois. On peut distinguer huit étapes principales au cours d'une période. L'enchaînement des flux monétaires au cours de la période est représenté par le diagramme de séquence de la figure 2 page 5.

1. Ouverture de la période. Les agents héritent des dépôts monétaires qu'ils ont constitués à la fin de la période précédente ( $M_{H,t}$ ,  $M_{F,t}$ ,  $M_{B,t}$ ).

Emetteur	Rôle	Flux	Récepteur	Rôle
banque	prêteur	monétaire	entreprises	emprunteur
	dépositaire	monétaire	ménages	épargnant
	employeur	monétaire	ménages	salarié
entreprises	fournisseur	réel	ménages	consommateur
	débiteur	monétaire	banque	créancier
	travailleur	réel	entreprises	producteur
ménages	consommateur	monétaire	entreprises	fournisseur
	épargnant	monétaire	banque	dépositaire

TAB. 1: Agents, rôles et flux

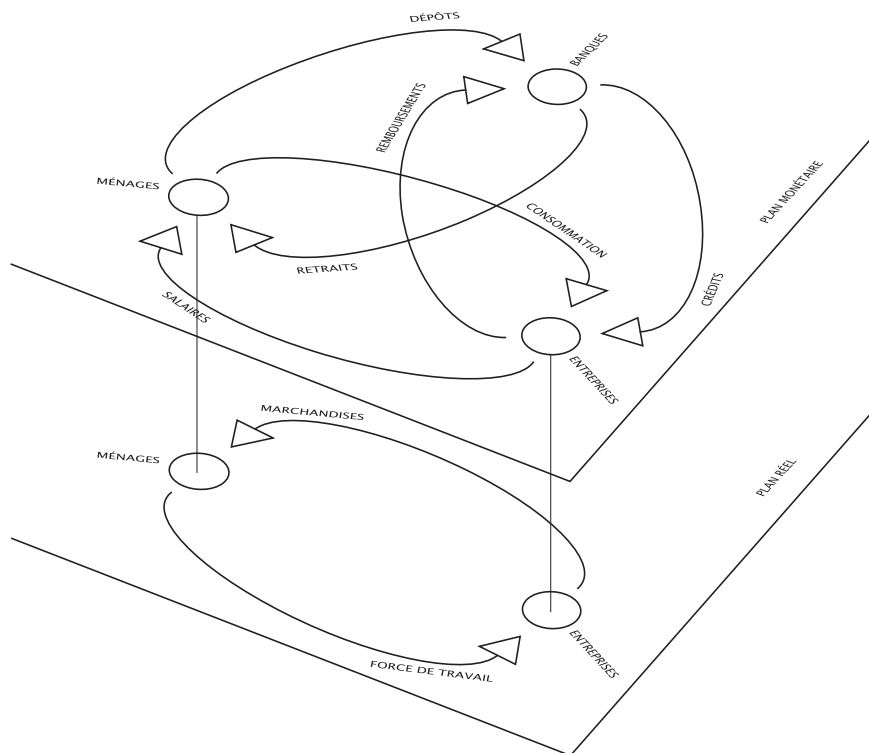


FIG. 1: Les interactions des agents dans les plans réel et monétaire

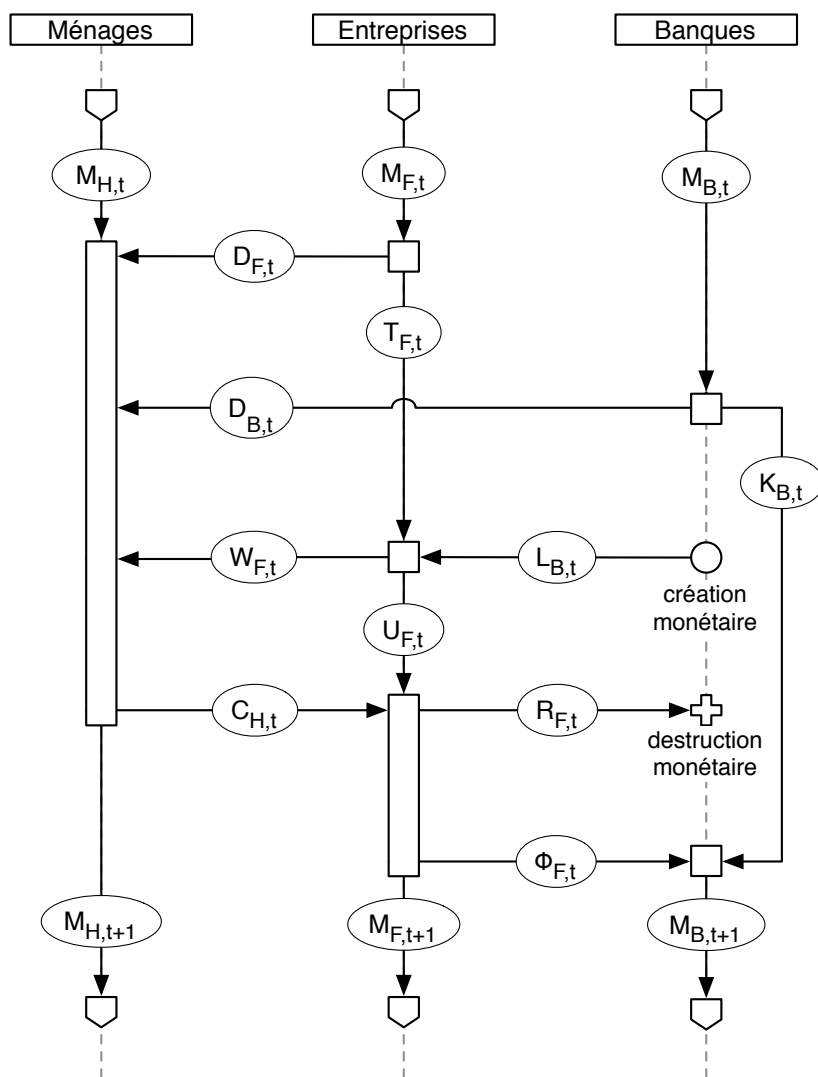


FIG. 2: Diagramme de séquence des flux monétaires

2. Les entreprises et la banque versent aux ménages propriétaires les dividendes calculés sur la base des profits réalisés lors de la période précédente ( $D_{F,t}$ ,  $D_{B,t}$ ). Une part des dépôts est conservée par les entreprises pour le financement de la production ( $T_{F,t}$ ) et par la banque comme réserve de fonds propres ( $K_{B,t}$ ) pour faire face à l'éventuelle défaillance d'un débiteur.
3. Les entreprises décident du niveau de la production, évaluent leur besoin de financement et obtiennent de la banque le financement complémentaire nécessaire ( $L_{B,t}$ ). Ce prêt bancaire est une création monétaire.
4. Les entreprises postent sur le marché du travail leurs offres d'emploi. Les ménages répondent à ces offres.
5. Les entreprises paient les salariés ( $W_{F,t}$ ). Une part de la trésorerie des entreprises peut éventuellement rester inemployée ( $U_{F,t}$ ). Les salariés travaillent pour l'entreprise. Les entreprises décident du prix de leur production.
6. Les entreprises postent sur le marché des biens leurs offres de marchandises. Les ménages utilisent une part de leurs ressources monétaires ( $M_{H,t} + D_{F,t} + D_{B,t} + W_{F,t}$ ) pour acheter les marchandises offertes ( $C_{H,t}$ ) et épargnent l'autre part ( $M_{H,t+1}$ ).
7. La banque recouvre les créances échues. Le remboursement des sommes dues au titre du principal se traduit par une destruction monétaire ( $R_{F,t}$ ). Les sommes payés au titre de l'intérêt sont versées au compte de la banque ( $\Phi_{F,t}$ ).
8. Fermeture de la période. Les dépôts monétaires des agents sont transférés à la période suivante ( $M_{H,t+1}$ ,  $M_{F,t+1}$ ,  $M_{B,t+1}$ ).

## 2.2 Modélisation des sphères réelle et monétaire

Le modèle est formé de deux systèmes couplés : l'un représentant la sphère réelle l'autre la sphère monétaire. Les règles de fonctionnement de ces deux systèmes s'imposent aux agents. L'implémentation du modèle dans un langage orienté objet et l'encapsulation des données réelles et monétaires au sein d'objets extérieurs aux agents permettent d'assurer :

- le respect des contraintes physiques (règles de production, de transfert et de destruction des biens),
- le respect des contraintes monétaires (règles de création, de transfert et de destruction de la monnaie).

### 2.2.1 Les objets de la sphère réelle

La sphère réelle comprend trois classes d'objets :

- L'objet *Commodity* représente un stock de marchandises. Dans la version actuelle du modèle, toutes les marchandises sont des biens de consommation. Les stocks de marchandises ne se distinguent que par la quantité.
- L'objet *Workforce* représente la force de travail d'un ménage. Cette force de travail peut prendre deux valeurs : *available* et *exhausted*. Dans la version actuelle du modèle, les forces de travail des différents ménages ne sont pas autrement distinguées. En début de période, toutes les forces de travail sont *available*. Lorsqu'un ménage travaille sa force de travail passe de *available* à *exhausted*.
- L'objet *Machine* représente une unité de capital. Dans la version actuelle du modèle, la dotation en capital de chaque entreprise est fixée de façon exogène. Une unité de capital n'a besoin pour fonctionner que de la dépense de la force de travail d'un ménage. Un stock de marchandises est produit par une unité de capital après une certaine durée de fonctionnement définie par la durée du cycle de production.

**Paramètres** Les paramètres communs à toutes les unités de capital sont :

- $d^P$  durée d'un cycle de production.

Les paramètres propres à une unité de capital  $k$  sont :

- $P_k$  productivité périodique moyenne.

**Variables d'état** L'état d'avancement du cycle est déterminé par le nombre de périodes de fonctionnement effectif de l'unité de capital depuis le début du cycle. A une date  $t$ , l'état de l'unité de capital  $k$  est caractérisé par :

- $d_{k,t}^w$  sa durée de fonctionnement effectif depuis le début du cycle. Cette durée est incrémentée chaque fois qu'un ménage exerce sa force de travail sur cette unité de capital. Elle est remise à 0 lorsque la fin du cycle est atteinte.

La production de l'unité de capital n'est disponible que lorsque le cycle de production est achevé. A la date  $t$ , la production est donc :

$$Q_{k,t} = \begin{cases} P_k d^P & \text{si } d_{k,t}^w = d^P, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (1)$$

Ce processus est le seul processus de production des marchandises. Elles ne disparaissent que dans l'acte de consommation des ménages. En dehors de ces deux processus, toute augmentation d'un stock de marchandise trouve sa contrepartie dans la baisse équivalente d'un autre stock de marchandise.

### 2.2.2 Les objets de la sphère monétaire

La sphère monétaire comprend deux classes d'objets :

- L'objet *Deposit* représente un dépôt monétaire. Dans notre modèle, toute la monnaie est une monnaie scripturale, i.e. un nombre enregistré dans les livres de compte de la banque. Tous les dépôts sont hébergés par la banque, et les autres agents ne les manipulent pas directement.
- L'objet *Loan* représente une créance de la banque sur un agent. Une créance se caractérise par le montant du prêt, son taux, sa durée, sa date d'échéance et sa qualité.

Dans la sphère monétaire comme dans la sphère réelle, les transferts conservent les quantités. Dans un transfert monétaire, le crédit d'un compte est conditionné par le débit équivalent d'un autre compte.

C'est par le crédit bancaire que la monnaie nouvelle est injectée dans l'économie. Lorsqu'un crédit est accordé, le compte de l'emprunteur est crédité, sans qu'aucun autre compte ne soit débité. Le dépôt monétaire nouveau ne trouve sa contrepartie que dans une créance de la banque sur le titulaire du compte crédité. La création monétaire n'est pas une production, elle ne réclame aucun *input*, c'est une création *ex-nihilo* (Piégay et Rochon [19]) qui ne dépend que de l'accord de la banque et de l'emprunteur.

Lorsqu'une créance arrive à échéance, le crédit est remboursé. Ce remboursement se décompose en trois opérations :

- Le compte de l'emprunteur est débité d'une somme correspondant au principal de la dette, aucun compte n'est crédité de cette somme. Cette opération est une destruction de monnaie.
- La part correspondant à l'intérêt est débitée du compte de l'emprunteur et créditée sur le compte propre de la banque. Cette seconde opération est un transfert de monnaie (un paiement).
- La créance est effacée.

Ainsi, à tout moment, la somme des dépôts monétaires (passif de la banque) est égale à la somme des créances bancaires (actif de la banque). En tant que banque unique représentant l'ensemble du secteur bancaire, la banque n'est pas dans ce modèle soumise au risque d'illiquidité (Chaîneau [5]).

### 2.3 Les comportements des agents

Les comportements assignés aux agents sont de type réactif.



### 2.3.1 La banque

La banque gère l'ensemble des moyens de paiement des agents (entreprises et ménages). Elle prête aux entreprises pour financer la production et tente de recouvrer ces crédits à l'échéance. Elle constitue une réserve de fonds propres et verse l'excédent aux ménages sous forme de dividendes.

**Paramètres** Les paramètres fixant le comportement de la banque sont :

- $d^c$  durée des crédits,
- $\kappa_b$  coefficient de fonds propres de la banque,
- $r$  taux d'intérêt des crédits accordés,
- $r^m$  taux d'intérêt majoré.

**Variables d'état** L'état de la banque est caractérisé par :

- $D_{b,t}$  montant des dividendes versés à ses actionnaires par la banque au début de la période  $t$ ,
- $Y_{b,t}$  revenu de la période  $t$ ,
- $K_{b,t}$  montant des fonds propres pendant la période  $t$ ,
- $O_t$  encours des crédits accordés par la banque à la fin de la période  $t$ ,
- $\Pi_{b,t}$  résultat à affecter à la fin de la période  $t$ .

**Gestion des moyens de paiement** Dans son rôle de gestionnaire des moyens de paiement, la banque ne dispose d'aucune autonomie. Elle se contente d'exécuter les ordres de paiement que lui transmettent les titulaires des comptes, sous réserve toutefois que les comptes soient suffisamment approvisionnés.

**Financement de la production** Dans son rôle de financier de la production, la banque est parfaitement accommodante : elle accepte toutes les demandes de crédit des entreprises. Le nouveau crédit, destiné au financement de la production, est accordé pour une durée  $d^c$  au taux d'intérêt  $r$ .

**Recouvrement des créances** Lorsqu'une entreprise se trouve incapable de rembourser un crédit à l'échéance  $d^c$  la banque lui accorde automatiquement un nouveau prêt. Le montant de ce nouveau prêt est tel qu'il permet à l'entreprise de rembourser immédiatement le prêt initial (principal et intérêt). Un prêt est donc finalement *toujours* remboursé à l'échéance.

Toutefois, les contraintes liées au nouveau prêt diffèrent de celles du prêt initial :

- le taux du nouveau prêt est le taux majoré  $r^m$ ,
- alors que la créance initiale, correspondant au financement de la production, est notée *goodDebt*, la créance seconde est notée *doubtfulDebt*,
- la banque tente chaque période de procéder au recouvrement, même partiel, de la créance,
- l'entreprise ne peut donc distribuer aucun profit tant qu'une créance notée *doubtfulDebt* n'est pas remboursée.

Lorsqu'une entreprise se trouve incapable de rembourser une créance notée *doubtfulDebt*, la banque considère que l'entreprise est en situation de faillite. Néanmoins, l'entreprise n'est pas mise en liquidation, la situation de faillite potentielle est seulement enregistrée dans les statistiques, et la banque accorde un nouveau prêt au taux  $r^m$  à l'entreprise (créance notée *badDebt*).

**Affectation du résultat** A la fin de chaque période  $t$ , le revenu de la banque  $Y_{b,t}$  est constitué par le versement par les entreprises des intérêts sur les prêts remboursés. La banque conserve une part de ces recettes pour la constitution d'une réserve de fonds propres proportionnelle à l'encours des crédits accordés par la banque (Descamps et Soichot [6]), et verse l'excès aux actionnaires (certains ménages) sous forme de dividendes. Le résultat à affecter est formé du revenu de la période et de la réserve de fonds propres de la période :

$$\Pi_{b,t} = Y_{b,t} + K_{b,t} \quad (2)$$

Soit  $K_{b,t+1}^*$  la réserve de fonds propres que la banque désire constituer pour la période  $t + 1$ . Cette réserve est proportionnelle à l'encours des crédits à la fin de la période  $t$  :

$$K_{b,t+1}^* = \kappa O_t \quad (3)$$

La réserve de fonds propres réellement constituée est éventuellement limitée par le montant du résultat à affecter :

$$K_{b,t+1} = \begin{cases} K_{b,t+1}^* & \text{si } \Pi_{b,t} > K_{b,t+1}^*, \\ \Pi_{b,t} & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4)$$

La part restante du résultat après constitution de la réserve de fonds propres sera distribuée aux ménages propriétaires de la banque sous la forme de dividendes au début de la période suivante :

$$D_{b,t+1} = \Pi_{b,t} - K_{b,t+1} \quad (5)$$

### 2.3.2 Les entreprises

Les entreprises déterminent leurs plans de production en fonction de la demande observée et s'adressent à la banque pour obtenir les financements nécessaires à leur mise en oeuvre. Elles embauchent, payent les salaires, produisent et offrent leur production sur le marché. Elles remboursent les crédits échus et versent aux actionnaires une part des profits enregistrés.

Une entreprise doit déterminer successivement :

- le niveau de sa production et le nombre d'emplois offerts,
- le niveau du salaire unitaire d'embauche,
- le prix de vente du produit,
- la part des profits qui sera distribuée aux actionnaires.

**Paramètres** Toutes les entreprises partagent les paramètres suivants :

- $\eta$  flexibilité du salaire d'embauche,
- $\beta$  délai de révision du niveau de production,
- $\gamma$  délai de révision du salaire d'embauche,
- $\kappa_e$  coefficient de fonds propres,
- $\mu$  flexibilité du prix unitaire,
- $\nu$  flexibilité du niveau de production,
- $\bar{w}$  salaire minimum légal.

Les paramètres propres à l'entreprise  $i$  sont :

- $\bar{N}_i$  le nombre de postes de travail (égal au nombre d'unités de capital),
- $\bar{P}_i$  la capacité de production (quantité de marchandises qui seraient produites en moyenne par période avec pleine utilisation du capital), somme de la productivité  $P_k$  de toutes les unités de capital  $k$  de l'entreprise,
- $\bar{Q}_i$  capacité de commercialisation de l'entreprise (on pose que la capacité de commercialisation de chaque entreprise est égale au double de la capacité de production :  $\bar{Q}_i = 2\bar{P}_i$ ).

**Variables d'état** L'état de l'entreprise  $i$  au cours de la période  $t$  est caractérisé par :

- $D_{i,t}$  montant des dividendes versés aux actionnaires,
- $Y_{i,t}$  revenu de l'entreprise,
- $\Phi_{i,t}$  sommes versées à la banque au titre de l'intérêt,
- $K_{i,t}$  réserve de fonds propres ou résultat reporté,
- $L_{i,t}$  nouveau crédit obtenu auprès de la banque,
- $T_{i,t}$  trésorerie disponible après le versement des dividendes,
- $p_{i,t}$  prix unitaire de la production,
- $\Pi_{i,t}$  résultat à affecter,
- $R_{i,t}$  remboursement des prêts à la banque (principal),
- $Q_{i,t}$  volume de marchandises en stock après la production de la période  $t$ ,

- $\check{Q}_{i,t}$  volume de marchandises restées invendues à la fin de période  $t$ ,
- $\tilde{N}_{i,t}$  nombre de salariés inscrits au registre de l'entreprise en début de période  $t$  (i.e. le nombre de salariés employés pendant la période  $t - 1$  diminué du nombre de salariés dont le contrat est arrivé à échéance),
- $d_{i,t}^v$  nombre de périodes consécutives sans emplois vacants ( $d_{i,t}^v > 0$ ) ou avec emplois vacants ( $d_{i,t}^v < 0$ ),
- $w_{i,t}$  salaire d'embauche,
- $W_{i,t}$  masse des salaires.

**Détermination du niveau de production** Régulièrement (toutes les  $\beta$  périodes), l'entreprise détermine son objectif de production pour les périodes suivantes en fixant son objectif d'emploi  $N_{i,t}^*$ . Elle ne connaît l'état du marché des biens que par le niveau de son stock de marchandises invendues  $\check{Q}_{i,t-1}$ .

Notons  $\rho_{i,t}$  le rapport  $\frac{\check{Q}_{i,t}}{P_i^{max}}$ . Si ce rapport sort de l'intervalle  $[1, 4]$ , l'entreprise modifie son objectif de production :

$$N_{i,t}^* = N_{i,t-1}^* + \delta_{i,t}^N \tilde{N}_i \quad (6)$$

avec

$$\delta_{i,t}^N = \begin{cases} \nu & \text{si } \rho_{i,t-1} < 1 \text{ et } N_{i,t-1}^* + \nu \tilde{N}_i \leq \tilde{N}_i, \\ -\nu & \text{si } \rho_{i,t-1} > 4 \text{ et } N_{i,t-1}^* - \nu \tilde{N}_i \geq 0, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (7)$$

$N_{i,t}^*$  est maintenu constant pendant un nombre de période égal à  $\beta$ .

A chaque période  $t$ , si  $N_{i,t}^* < \tilde{N}_{i,t}$ , l'entreprise licencie immédiatement les travailleurs excédentaires. Ce sont alors les derniers travailleurs embauchés par l'entreprise qui sont les premiers licenciés (LIFO). En revanche, si  $N_{i,t}^* > \tilde{N}_{i,t}$  l'entreprise doit embaucher de nouveaux salariés.

**Fixation du salaire d'embauche** Le salaire unitaire à l'embauche  $w_{i,t}$  proposé par l'entreprise est réévalué. Il dépend de la perception de l'état du marché du travail par l'entreprise qu'elle ne connaît qu'à travers ses éventuelles difficultés précédentes de recrutement : si pendant plusieurs périodes consécutives l'entreprise a connu des difficultés pour recruter des salariés, alors elle augmente son salaire d'embauche ; si pendant plusieurs périodes consécutives l'entreprise n'a connu aucune difficulté pour recruter des salariés, alors elle baisse son salaire d'embauche. Le nouveau salaire d'embauche reste limité par le salaire minimum légal  $\bar{w}$  ( $\bar{w} \geq 0$ ).

$$w_{i,t} = \begin{cases} (1 + \delta_{i,t}^w)w_{i,t-1} & \text{si } (1 + \delta_{i,t}^w)w_{i,t-1} > \bar{w}, \\ \bar{w} & \text{sinon,} \end{cases} \quad (8)$$

avec

$$\delta_{i,t}^w = \begin{cases} \eta & \text{si } d_{i,t}^v > \gamma, \\ -\eta & \text{si } d_{i,t}^v < -\gamma, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (9)$$

**Financement de la production** L'entreprise est alors en mesure de calculer sa masse salariale prévue après embauche  $W_{i,t}^*$ , somme des salaires des travailleurs effectivement employés et des salaires des travailleurs à embaucher. Elle détermine ensuite son besoin de financement externe  $L_{i,t}^*$ , qui est l'excès de la masse salariale prévue sur la trésorerie de l'entreprise.

$$L_{i,t}^* = \begin{cases} W_{i,t}^* - T_{i,t} & \text{si } W_{i,t}^* \geq T_{i,t}, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (10)$$

Le financement nécessaire est automatiquement obtenu auprès de la banque, puisque celle-ci est, dans cette version du modèle, parfaitement accommodante. On a donc

$$L_{i,t} = L_{i,t}^* \quad (11)$$

Si  $N_{i,t}^* > \tilde{N}_{i,t}$ , l'entreprise poste ensuite son offre (nombre de postes  $N_{i,t}^* - \tilde{N}_{i,t}$ , salaire d'embauche  $w_{i,t}$ ) sur le marché du travail. Les ménages qui répondent à cette offre sont payés (pour une masse des salaires  $W_{i,t}$ ) et employés sur les unités de capital de l'entreprise. Il est possible qu'une part des emplois offerts restent vacants, une part des sommes destinées au financement de la masse salariale restera alors inutilisée, pour un montant égal à  $W_{i,t}^* - W_{i,t}$ .

**Fixation du prix** Une fois la phase de production terminée, l'entreprise détermine son prix de vente unitaire. Le prix est révisé chaque période. Le nouveau prix dépend de la représentation que se fait l'entreprise du niveau de son offre par rapport à la demande exprimée sur le marché des biens. Elle forme cette représentation à partir du niveau des stocks après production. Notons  $\tau_{i,t}$  le rapport  $\frac{Q_{i,t}}{P_{i,t}^{max}}$ . Si ce rapport est inférieur ou égal à 2, l'entreprise augmente le prix. Sinon, elle baisse le prix.

$$p_{i,t} = (1 + \delta_{i,t}^p) p_{i,t-1} \quad (12)$$

avec

$$\delta_{i,t}^p = \begin{cases} \mu & \text{si } \tau_{i,t} \leq 2, \\ -\mu & \text{si } \tau_{i,t} > 2, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (13)$$

Toutefois, si l'entreprise se trouve à son niveau maximum de production et que la faiblesse des stocks indique une forte demande, l'entreprise ne pourra y répondre par une augmentation future du niveau de production. L'augmentation du prix par l'entreprise est alors accentuée :

$$p_{i,t} = (1 + \mu^m) p_{i,t-1} \text{ si } \tau_{i,t} \leq 2 \text{ et } N_{i,t}^* = \bar{N}_i, \quad (14)$$

avec  $\mu^m$  la flexibilité des prix majorée. De même, si l'entreprise se trouve à son niveau minimum de production et que le niveau élevé des stocks conduit l'entreprise à considérer que la demande est faible, l'entreprise ne pourra ajuster son offre par une diminution du niveau de production. La diminution du prix par l'entreprise est alors plus marquée :

$$p_{i,t} = (1 - \mu^m) p_{i,t-1} \text{ si } \tau_{i,t} > 2 \text{ et } N_{i,t}^* = 0. \quad (15)$$

**Commercialisation de la production** L'entreprise poste ensuite son offre (quantité  $Q_{i,t}^o$ , prix  $p_{i,t}$ ) sur le marché des biens. Le volume de marchandises proposé sur le marché des biens  $Q_{i,t}^o$  est limité par la capacité de commercialisation de l'entreprise  $\bar{Q}_i$ .

$$Q_{i,t}^o = \begin{cases} Q_{i,t} & \text{si } Q_{i,t} \leq \bar{Q}_i, \\ \bar{Q}_i & \text{sinon.} \end{cases} \quad (16)$$

A l'issue de la phase de commercialisation des marchandises, il peut rester dans les stocks de l'entreprise une quantité de marchandises invendues  $\check{Q}_{i,t}$ , soit parce que l'entreprise n'a pu mettre ces marchandises sur le marché du fait de sa capacité de commercialisation limitée, soit parce que ces marchandises offertes sur le marché n'ont pas trouvé preneur. Les recettes de l'entreprise sont donc égales à  $p_{i,t}(Q_{i,t} - \check{Q}_{i,t})$ .

**Affectation du résultat** Le revenu de l'entreprise  $Y_{i,t}$  est formé par les recettes de la période moins les charges de la période (les salaires et l'intérêt sur les prêts remboursés) :

$$Y_{i,t} = p_{i,t}(Q_{i,t} - \check{Q}_{i,t}) - W_{i,t} - \Phi_{i,t} \quad (17)$$

Le résultat à affecter est formé du revenu de la période et de la réserve de fonds propres de la période :

$$\Pi_{i,t} = Y_{i,t} + K_{i,t} \quad (18)$$

Lorsque le résultat à affecter est positif, l'entreprise constitue une nouvelle réserve de fonds propres  $K_{i,t+1}$  proportionnelle au résultat. Si le résultat à affecter est négatif il est intégralement reporté à la période suivante,  $K_{i,t+1}$  représentant alors ce résultat négatif reporté.

$$K_{i,t+1} = \begin{cases} \kappa_e \Pi_{i,t} & \text{si } \Pi_{i,t} > 0, \\ \Pi_{i,t} & \text{sinon.} \end{cases} \quad (19)$$

La part restante du résultat après constitution de la réserve de fonds propres sera distribuée sous la forme de dividendes aux ménages propriétaires de l'entreprise au début de la période suivante :

$$D_{i,t+1} = \Pi_{i,t} - K_{i,t+1} \quad (20)$$

L'entreprise connaît alors le montant de la trésorerie dont elle disposera après versement des dividendes :

$$T_{i,t+1} = T_{i,t} + Y_{i,t} + L_{i,t} - R_{i,t} - D_{i,t} \quad (21)$$

On remarque que :

$$T_{i,t+1} - T_{i,t} = K_{i,t} + L_{i,t} - R_{i,t} \quad (22)$$

c'est-à-dire que la variation de la trésorerie de l'entreprise est formée pour une part des profits épargnés par l'entreprise  $K_{i,t}$  (ou par les pertes reportées), et pour la part restante par la variation de la dette de l'entreprise  $L_{i,t} - R_{i,t}$ .

### 2.3.3 Les ménages

Les ménages cherchent un emploi, travaillent, épargnent et consomment. Un ménage doit successivement :

- déterminer son salaire de réservation et rechercher un emploi satisfaisant,
- déterminer la part de son revenu consacré à l'épargne et dépenser l'autre.

**Paramètres** Tous les ménages partagent les paramètres suivants :

- $d^W$  durée du contrat de travail,
- $n$  nombre d'offres consultées par chaque ménage sur un marché,
- $\psi$  flexibilité à la baisse du salaire de réservation,
- $s$  propension à épargner,
- $\theta$  délai de révision du salaire de réservation,
- $\sigma$  délai de révision de l'objectif d'épargne.

**Variables d'état** L'état du ménage  $j$  au cours de la période  $t$  est caractérisé par :

- $D_{j,t}$  dividendes reçus au cours de la période,
- $Y_{j,t}$  revenu total reçu au cours de la période,
- $M_{j,t}$  épargne monétaire disponible sur le compte courant en début de période,
- $w_{j,t}$  salaire reçu au cours de la période,
- $w_{j,t}^*$  salaire de réservation,
- $d_{j,t}^u$  nombre de périodes consécutives sans emploi.

**Détermination du salaire de réservation** Le niveau du salaire de réservation dépend du nombre de périodes passées au chômage. Passé le délai  $\theta$ , le ménage accepte une baisse.

$$w_{j,t}^* = \begin{cases} w_{j,t-1} & \text{si } d_{j,t}^u = 0, \\ w_{j,t-1}^* & \text{si } 0 < d_{j,t}^u \text{ et } d_{j,t}^u < \theta, \\ (1 - \psi)w_{j,t-1}^* & \text{sinon.} \end{cases} \quad (23)$$

**Recherche d'un emploi** Comme les entreprises, les ménages n'ont qu'une connaissance limitée du marché. Chaque ménage sans emploi effectue une recherche sur le marché du travail. Pour cela, il consulte l'offre de son ancien employeur (si elle existe) et celles de  $n - 1$  autres employeurs choisies au hasard parmi toutes les offres postées sur le marché du travail. Le ménage retient l'offre de l'entreprise  $i$  dont le salaire d'embauche  $w_{i,t}$  est le plus élevé parmi les offres consultées. Il compare alors ce salaire à son salaire de réservation. Si  $w_{i,t} \geq w_{j,t}$  il accepte l'emploi et il est immédiatement embauché par l'entreprise  $i$ . Il restera employé de cette entreprise pendant  $d^W$  périodes (la durée du contrat de travail) sauf si l'entreprise le licencie à l'occasion d'une réduction des effectifs. Si le ménage n'a pas trouvé d'offre supérieure ou égale à son salaire de réservation, il reste sans emploi pour cette période.

**Détermination du budget** Une fois clos le marché du travail, les entreprises paient les ménages employés. Ceux-ci dépensent en échange leur force de travail dans la mise en oeuvre du processus de production. Le revenu des ménages est formé par le salaire de la période et les éventuels dividendes versés par les entreprises et la banque.

$$Y_{j,t} = w_{j,t} + D_{j,t} \quad (24)$$

Le ménage détermine d'abord son objectif d'épargne  $M_{j,t+1}^*$ , i.e. la quantité de monnaie qu'il désire disposer sur son compte courant au début de la période suivante. Il se base pour cela sur une estimation de son revenu annuel basée sur le revenu périodique moyen des  $d_{j,t}^s$  dernières périodes.

$$M_{j,t+1}^* = \begin{cases} 12s\check{E}_{j,t} & \text{si } d_{j,t}^s > \sigma, \\ M_{j,t}^* & \text{sinon,} \end{cases} \quad (25)$$

où  $d_{j,t}^s$  est le nombre de périodes depuis la dernière modification de l'objectif d'épargne,  $\check{E}_{j,t}$  le revenu périodique moyen du ménage calculé sur les  $d_{j,t}^s$  dernières périodes. Le ménage consacre une part de son revenu à constituer le stock d'épargne désiré, l'autre part représentant la consommation désirée  $C_{j,t}^*$  pour la période. Si l'objectif d'épargne est atteint, alors la part du revenu consacré à la consommation est plus importante. Le ménage peut même procéder à une désépargne.

$$C_{j,t}^* = \begin{cases} (1-s)Y_{j,t} & \text{si } sY_{j,t} < M_{j,t+1}^* - M_{j,t}, \\ Y_{j,t} + M_{j,t} - M_{j,t+1}^* & \text{sinon.} \end{cases} \quad (26)$$

**Dépense sur le marché des biens** Lorsque le ménage a déterminé sa consommation désirée, il se porte sur le marché des biens. Comme sur le marché du travail, il n'a qu'une connaissance partielle du marché. Il commence par consulter l'offre du dernier des fournisseurs dont il a gardé la mémoire, ainsi que les offres de  $n - 1$  autres entreprises parmi l'ensemble des offres postées. Le ménage retient l'offre de l'entreprise  $f$  dont le prix unitaire de vente  $p_{f,t}$  est le moins élevé parmi les offres consultées. Le ménage achète les marchandises proposées. Après cet achat, si la dépense n'a pas atteint l'objectif de consommation  $C_{j,t}^*$ , alors le ménage consulte à nouveau  $n$  offres sur le marché, jusqu'à avoir atteint son objectif de consommation, ou jusqu'à ne plus trouver d'offre sur le marché.

### 3 Les simulations

On définit d'abord un scénario de base. On effectue une première simulation dont on étudie les résultats, qui serviront de référence pour les simulations suivantes. On se livre ensuite à des expérimentations en introduisant dans le scénario de base des chocs isolés sur certaines variables et en étudiant les réactions du système.

#### 3.1 Le scénario de base

Le tableau 2 page 14 détaille les principaux paramètres du scénario de base.

$t_0$	2001 – 01	début de la simulation,
$B$	1	nombre de banques,
$d^c$	12	durée des crédits,
$\kappa_b$	0.1	coefficient de fonds propres de la banque,
$r$	0.05	taux d'intérêt annuel des crédits accordés,
$r^m$	0.1	taux d'intérêt annuel majoré,
$F$	60	nombre d'entreprises,
$\eta$	0.01	flexibilité du salaire d'embauche,
$\gamma$	[0, 6]	délai de révision du salaire d'embauche,
$\kappa_e$	0.3	coefficient de fonds propres des entreprises,
$\mu$	0.01	flexibilité du prix unitaire,
$\mu^m$	0.05	flexibilité majorée du prix unitaire,
$p_0$	10	prix initial,
$\nu$	$\frac{1}{6}$	flexibilité du niveau de production,
$\beta$	3	délai de révision du niveau de production,
$\bar{w}$	1	salaire minimum légal,
$w_0$	300	salaire initial,
$\bar{N}_i$	[20, 25]	nombre d'unités de capital par entreprise,
$d^P$	2	durée d'un cycle de production,
$P_k$	40	productivité périodique moyenne d'une unité de capital,
$H$	1150	nombre de ménages,
$d^W$	[6, 36]	durée du contrat de travail,
$n$	3	nombre d'offres consultées sur un marché,
$\psi$	0.1	flexibilité à la baisse du salaire de réservation,
$\theta$	[6, 12]	délai de révision du salaire de réservation,
$s$	0.05	propension à épargner,
$\sigma$	[4, 6]	délai de révision de l'objectif d'épargne.

TAB. 2: Paramètres du scénario de base

Les figures 3a à 3p (pages 16 et 17) présentent l'évolution des principaux indicateurs macroéconomiques du modèle au cours des 25 premières années de la simulation.

**Une économie monétaire** Les figures 3a et 3b (page 16) montrent que sur l'équilibre comptable de la banque unique du modèle est en permanence respecté. Le modèle obéit à la formule *loans make deposits*, principe de base de la théorie du circuit post-keynésien. A tout moment, l'encours des crédits est égal au montant des dépôts.

En février 2002, 12 mois après les premiers prêts, la banque reçoit les premiers versements d'intérêts qu'elle affecte exclusivement à la constitution d'une réserve de fonds propres. Dès avril 2005 la banque parvient à atteindre son objectif d'une réserve de fonds propres égale à 10 pour cent des dépôts (figure 3c). A partir de cette date, la banque est en mesure de distribuer des dividendes à ses actionnaires (figure 3d). Le paiement de l'intérêt ne pose pas de problème à la plupart des entreprises, puisque le taux de créances douteuses (la part des créances qui n'ont pu être remboursées à l'échéance de 12 mois) ne dépasse pas 5 pour cent. De plus, aucune situation de faillite n'est enregistrée, ce qui indique que toutes les entreprises parviennent à rembourser leurs emprunts dans un délai de 24 mois.

Parce que la durée du crédit est supérieure à la période, la monnaie 'irrigue' en permanence le modèle. La figure 3e montre que la monnaie qui subsiste en fin de période se répartit entre les trois groupes d'agents. La banque détient, conformément à son objectif, 10 pour cent de la masse monétaire. Les ménages détiennent une épargne liquide environ égale à 18 pour cent de la masse monétaire. Le reste de la monnaie (environ 72 pour cent) constitue la trésorerie des entreprises. La vitesse de la monnaie reste comprise entre 4 et 5 (figure 3f page 16).

**Une économie de production** Les figures 3g à 3j (page 17) permettent de distinguer trois phases de l'activité réelle du modèle :

- jusqu'à l'été 2003, phase de 'décollage' du modèle. Les entreprises tentent de constituer des stocks de marchandises et élèvent leur niveau de production. La demande croît avec la croissance de l'emploi.
- de 2004 à 2012, phase de plein emploi. La croissance de la production est limitée par la pénurie de main-d'oeuvre.
- en 2010 et 2011, un léger fléchissement de la consommation conduit à une élévation des stocks des entreprises. Les entreprises réduisent leur niveau de production à partir de 2012, et le chômage se développe. A partir de 2014 le système se stabilise à un niveau de production inférieur.

Les figures 3k à 3l permettent de suivre l'évolution des prix et des salaires. Après une première phase d'ajustement (jusqu'en 2003) au cours de laquelle les salaires semblent se chercher, salaires et prix connaissent une croissance soutenue correspondant à la phase de plein emploi (jusqu'en 2012). Puis, avec l'apparition du chômage, on observe un ralentissement de la croissance des salaires suivi avec retard par un ralentissement de la hausse des prix.

Les figures 3m et 3n rapprochent les données relatives au chômage et à l'inflation. On distingue alors :

- une période de forte inflation et de chômage correspondant au décollage du système jusque vers 2006,
- une période marquée par le plein emploi (0 à 1,5 pour cent de chômeurs) et une inflation annuelle comprise entre 3 et 5 pour cent l'an de 2006 à 2013,
- suivie à partir de 2015, d'une période de stagnation des prix (compris en -1 et +2,5 pour cent) accompagnée d'un chômage touchant entre 4 et 7 pour cent de la population.

**Une économie d'entrepreneurs** Ces évolutions trouvent aussi leur traduction dans la dynamique des revenus. La figure 3o (page 17) montre que l'évolution de la masse des salaires connaît trois phases successives correspondant aux trois phases de l'activité :

- forte progression de la masse salariale du début de la simulation jusqu'à ce que le plein emploi soit atteint (en septembre 2003),
- progression régulière jusqu'au ralentissement de la production (janvier 2012),



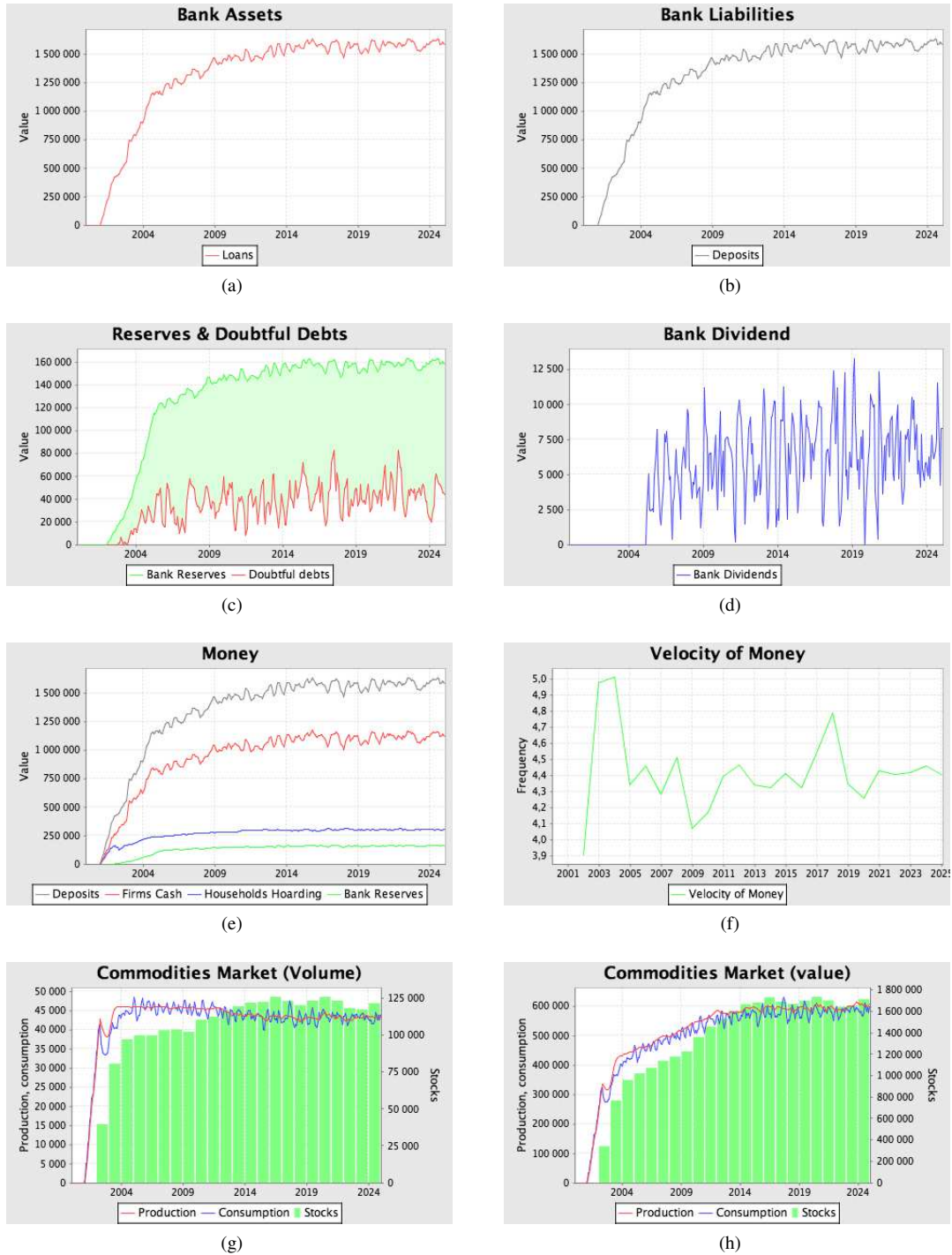


FIG. 3: Scénario 3.1 (scénario de base)

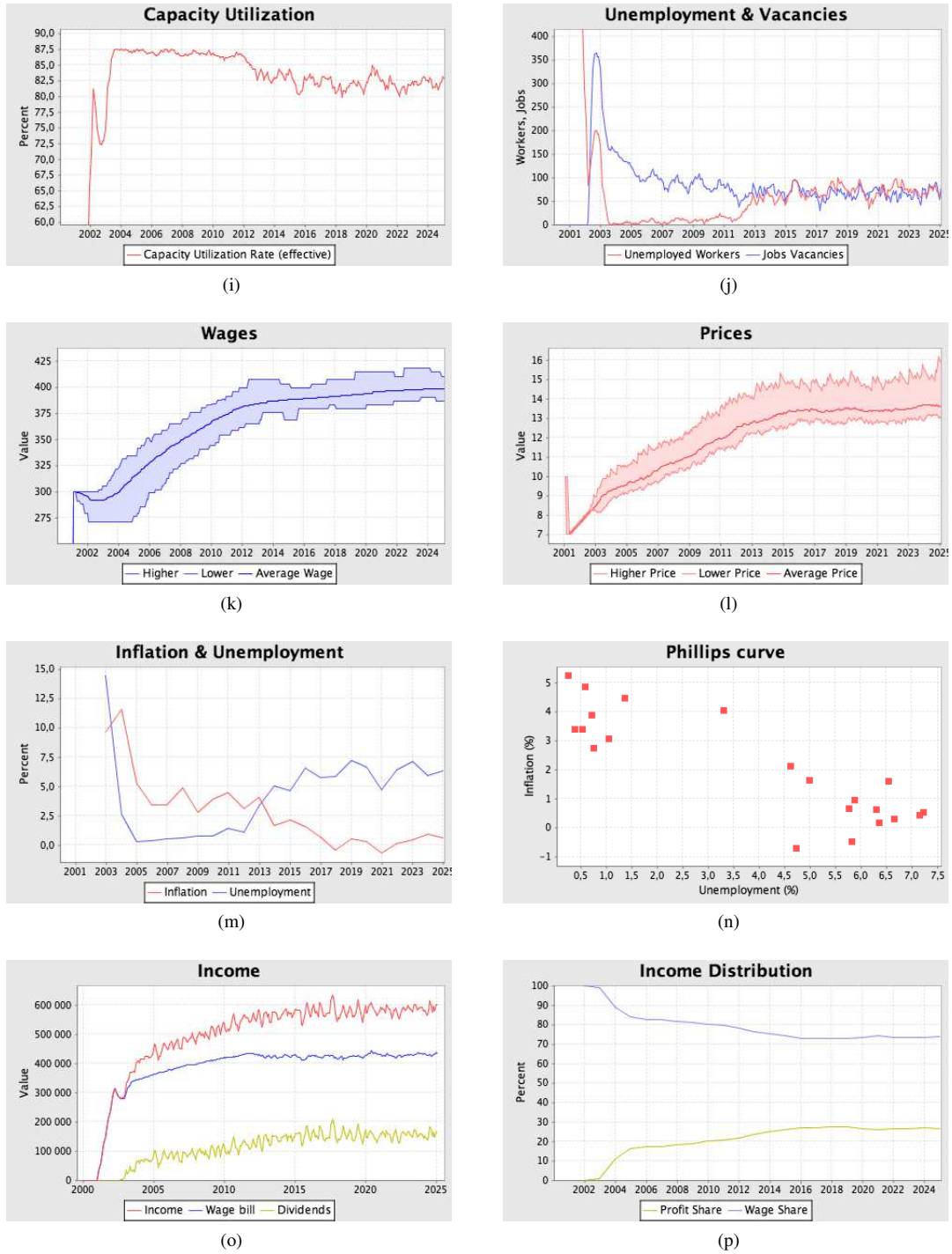


FIG. 3: Scénario 3.1 (scénario de base)

– stagnation après cette date.

Le secteur des entreprises est en mesure de distribuer des dividendes dès septembre 2002, soit 21 mois après le début de la simulation. Les profits, bien que beaucoup plus volatiles à court terme que les salaires, suivent eux aussi une tendance haussière régulière. Cette tendance se poursuit jusque vers le début de l'année 2016. A partir de 2016 la part des profits (figure 3p) se stabilise aux alentours de 27 pour cent de revenu global.

## 3.2 Expérimentations

Dans le cadre du scénario de base, le modèle débouche sur des résultats réalistes, tant sur certaines grandeurs relatives (vitesse de la monnaie, répartition des revenus...) que dans les relations entre les grandeurs (salaires et prix, emploi et salaires, salaires et inflation...). Mais surtout, le scénario de base confirme notre hypothèse principale : il est possible de construire un modèle dynamique d'économie monétaire de production, dans lequel la monnaie est créée de façon endogène pour financer la production, et ce modèle permet d'observer le paiement de l'intérêt comme la formation d'un profit monétaire au niveau macroéconomique.

Nous soumettons le modèle à une série d'expérimentations simples. Nous modifions différents paramètres du scénario et nous comparons les résultats du scénario modifié aux résultats du scénario de base. Lorsque cette modification intervient dans le courant du scénario, elle prend la forme d'un 'choc exogène'.

### 3.2.1 Durée du crédit

Dans le scénario de base la durée de crédit ( $d^c$ ) est fixée à 12 mois, tandis que la durée d'un cycle de production ( $d^P$ ) est fixée à 2 mois. Les entreprises disposent donc de 10 mois pour commercialiser leur production. Nous lançons plusieurs simulations successives en réduisant progressivement la durée du crédit ( $d^c = 6$ ,  $d^c = 4$ ,  $d^c = 2$ ,  $d^c = 1$ ), les autres paramètres restant inchangés (figures 4a à 4h, page 19).

Comme nous avons assigné à la banque un comportement parfaitement accommodant, les entreprises disposent en réalité d'un crédit d'une durée infinie. Aussi, à l'exception d'une accélération de la vitesse de la monnaie, le comportement macroéconomique du modèle n'est pas sensiblement modifié par la réduction de la durée du crédit. Néanmoins, on constate que les difficultés des entreprises à rembourser à l'échéance prévue croissent lorsque la durée du crédit se rapproche de la durée du cycle de production. Avec une durée du crédit inférieure à la durée du cycle de production (figures 4g et 4h), les difficultés sont généralisées.

Le modèle est ici très fidèle aux enseignements de la théorie post-keynésienne de la monnaie : la monnaie est une monnaie de crédit parce que la production prend du temps. Le modèle est bien celui d'une *économie monétaire de production*.

### 3.2.2 Choc de productivité

On étudie les effets d'une variation de la productivité. Pour cela, on laisse le scénario de base inchangé pendant les 20 premières années (durée suffisamment longue pour que le comportement du système se soit stabilisé). Puis, en janvier 2020, on modifie instantanément la productivité de toutes les unités de capital existantes ( $P_k = 45$ , contre  $P_k = 40$  précédemment).

Les conséquences à court terme de ce choc apparaissent sur les figures 5a à 5h (page 20). L'augmentation de la productivité entraîne une augmentation immédiate de la production. La consommation, commandée par le revenu monétaire des ménages, connaît aussi une augmentation mais qui reste dans les limites des fluctuations antérieures. L'excès de la production sur la consommation entraîne une augmentation des stocks (figures 5a et 5b).

Les entreprises réagissent très rapidement à cette hausse des stocks en baissant leurs prix (figure 5c). Malgré cette baisse, la consommation tarde à rattraper la production (la consommation ne

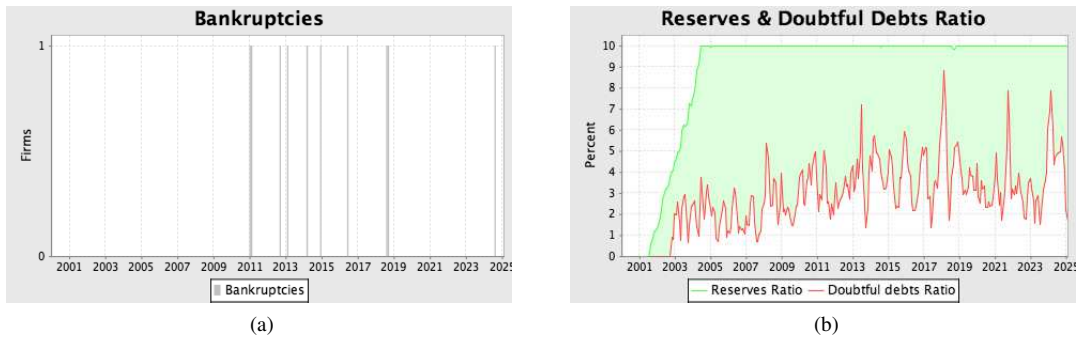


FIG. 4: Durée du crédit égale à 6 mois

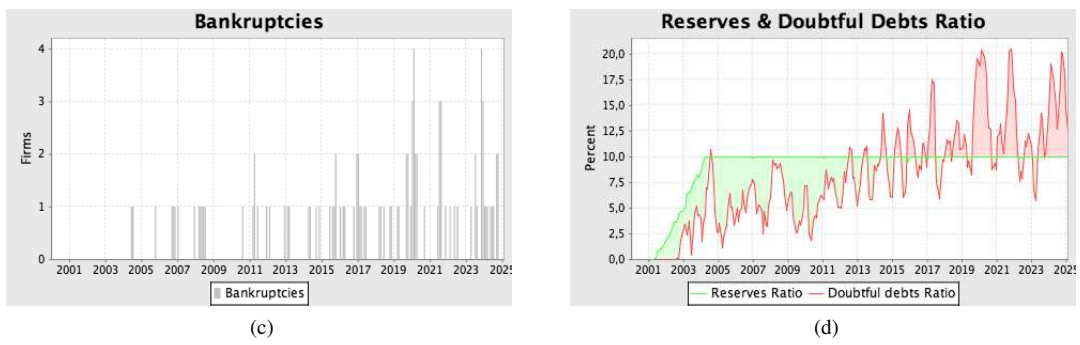


FIG. 4: Durée du crédit égale à 4 mois

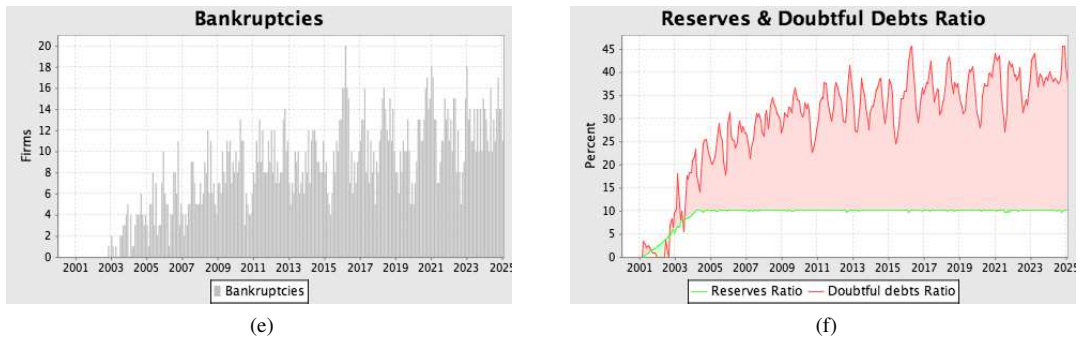


FIG. 4: Durée du crédit égale à 2 mois

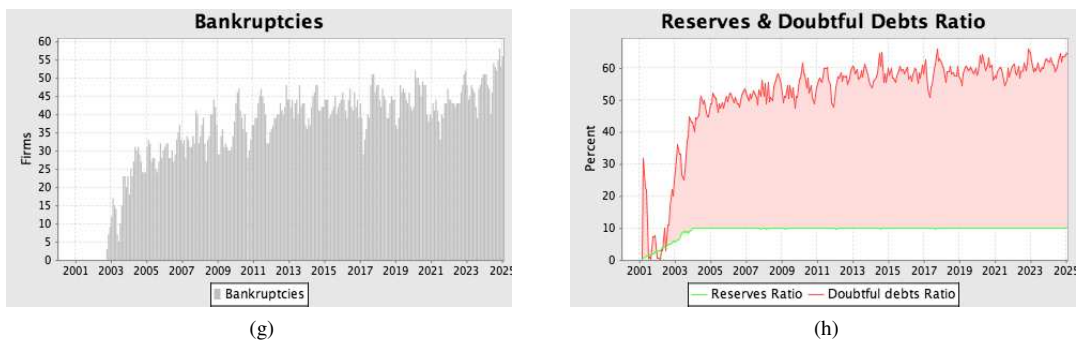


FIG. 4: Durée du crédit égale à 1 mois

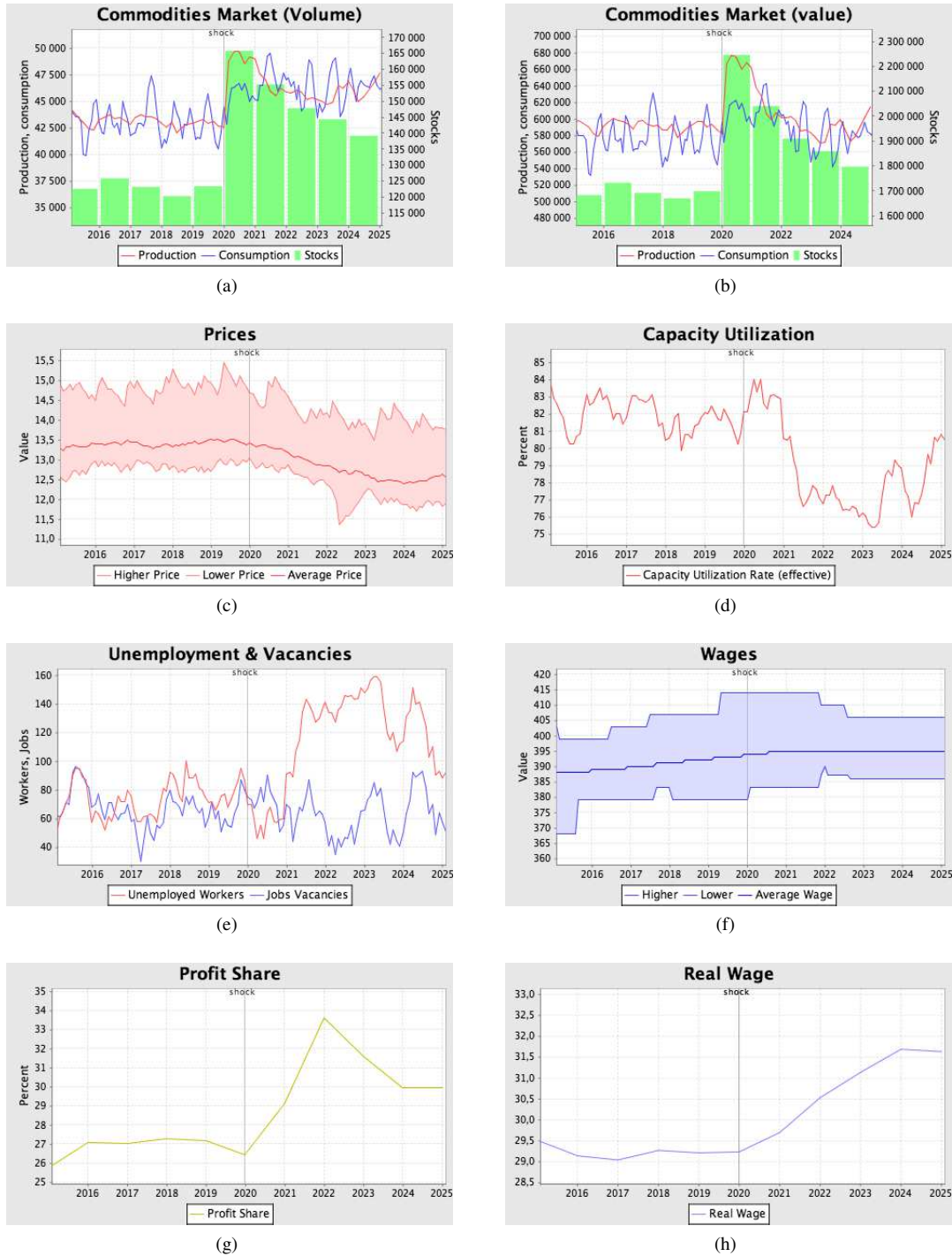


FIG. 5: Scénario 3.2.2, avec choc de productivité

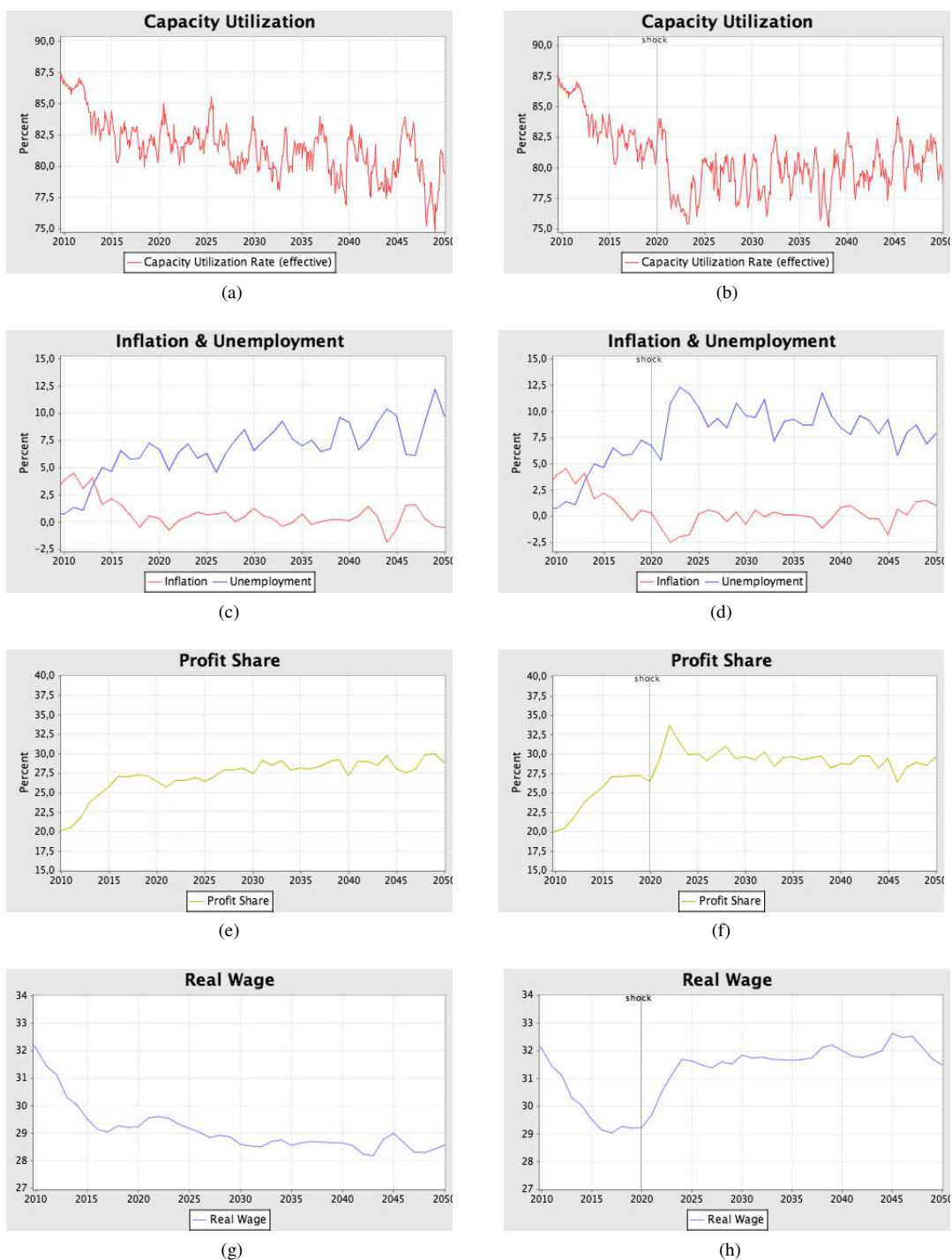


FIG. 6: Conséquences de long terme d'un choc de productivité. A gauche le scénario 3.1, scénario de base. A droite le scénario 3.2.2, avec choc de productivité.

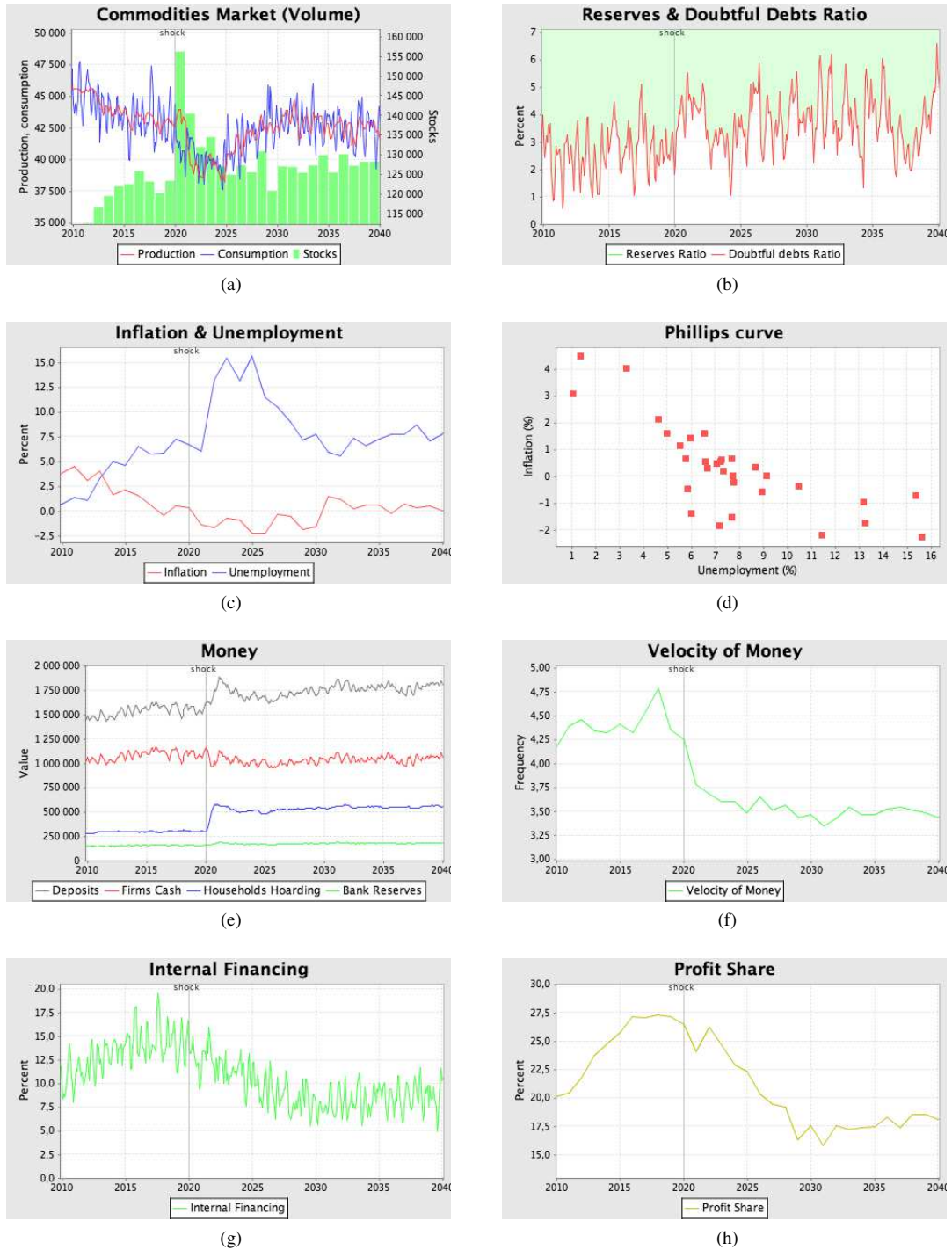


FIG. 7: Conséquences d'un choc de la demande, scénario 3.2.3

dépassera le niveau de la production qu'en mai 2021, 17 mois après le choc). Les entreprises décident alors de réduire leur production à partir de janvier 2021 (figure 5d). Cette réduction de la production se traduit par une augmentation du nombre de chômeurs (figure 5e). Les entreprises rencontrant moins de difficultés à pourvoir les emplois vacants, le salaire moyen interrompt sa progression (figure 5f).

La stagnation des salaires nominaux combinée à la hausse du chômage conduit à une baisse de la masse des salaires, alors que dans le même temps les dividendes connaissent une forte progression. La part des profits dans la répartition des revenus augmente (figure 5g) au détriment de la part des salaires. Néanmoins, le salaire réel progresse (figure 5h), du fait de la baisse des prix unitaires.

Les figures 6a à 6h page 21 mettent en regard, sur une période de 40 ans, le comportement du scénario de base et celui du scénario modifié par un choc de productivité. Les principales grandeurs qui avaient été affectées par le choc de productivité convergent vers les valeurs du scénario de base. Seul le salaire réel (figure 6h) est durablement affecté par ce choc.

### 3.2.3 Choc de la demande

On étudie les conséquences d'un choc négatif de la demande, simulé par l'augmentation de la propension à épargner des ménages en cours de scénario. Le début du scénario est identique au scénario de base. En janvier 2020, on double la propension à épargner des ménages ( $s = 0.1$ , contre  $s = 0.05$  précédemment). Tous les autres paramètres restent inchangés. Les figures 7a à 7h page 22 donnent différentes vues des conséquences de ce choc.

En janvier 2020, le stock de monnaie inactive conservé par les ménages sur leur compte en banque s'élevait à 300 000. En novembre de la même année, ce stock atteint 575 000 (figure 7e). Ce quasi doublement du stock d'épargne des ménages est obtenu au prix d'une baisse marquée de la consommation, laquelle entraîne une forte augmentation des stocks (figure 7a). Les entreprises réagissent à cette augmentation des stocks par une réduction de la production, et donc de l'emploi, ainsi que par une baisse des prix. Le chômage s'élève et l'inflation devient négative (figures 7c et 7d).

Pour les entreprises, la situation est un peu plus difficile. Elles ont un peu plus de mal à rembourser leur dette à l'échéance et le taux de créances douteuses enregistré par la banque gagne environ un point en moyenne (figure 7b). Elles sont contraintes de recourir plus massivement au crédit bancaire pour financer la production (figure 7g). Néanmoins, le système n'est pas en crise et aucune faillite n'est enregistrée. L'augmentation du stock de monnaie inactive détenu par les ménages apparaît essentiellement financée par l'augmentation de la masse monétaire (et donc par l'augmentation de l'endettement des entreprises) mais aussi par une réduction du stock de monnaie disponible en fin de période sur le compte des entreprises (figure 7e). L'augmentation du stock de monnaie inactive peut aussi s'interpréter comme un ralentissement de la vitesse de circulation de la monnaie, comme le confirme la figure 7f.

5 ans après le choc, production et consommation recommencent à croître, tandis que le chômage diminue. 10 ans après le choc, inflation, chômage, consommation et production ont repris des niveaux équivalents à ceux qu'ils auraient atteint dans le scénario de base. En revanche la répartition du revenu global entre salaires et profits s'établit à niveau très nettement défavorable aux profits, qui perdent 10 points par rapport au niveau qu'ils auraient atteint sans le choc (figure 7h).

Ces résultats sont là aussi cohérents avec la théorie du circuit, laquelle insiste sur le rôle négatif de l'épargne thésaurisée par les ménages sur les profits. Toutefois pour les circuitistes cette épargne — quel que soit son niveau — est une interruption du mouvement de la monnaie et s'oppose à la reproduction du système. En revanche dans notre modèle cette thésaurisation s'interprète de façon plus réaliste comme un ralentissement du mouvement de la monnaie. Même si ce ralentissement pèse sur la capacité globale des entreprises à dégager des profits, il ne constitue pas nécessairement un obstacle à la reproduction du système de période en période.



## 4 Conclusion

En croisant la démarche du circuit, courant de pensée issu de la mouvance post-keynésienne, avec la démarche multi-agents, développement des sciences de la complexité, nous avons construit un modèle permettant de penser l'économie monétaire de production comme un système dynamique et complexe.

Ce modèle est formé d'objets passifs, 'briques' élémentaires composant les sphères réelle et monétaire, et d'agents dotés d'une autonomie limitée, aux règles de comportement très simples. Par la manipulation des objets situés dans l'une et l'autre sphère, ces agents entrent en rapport les uns avec les autres et forment une économie virtuelle dans laquelle, à l'image du monde réel :

- la monnaie est créée pour permettre la production,
- cette production prend du temps,
- temps au bout duquel les entreprises peuvent en moyenne espérer vendre leur production et réaliser des profits en monnaie.

Nous montrons ainsi qu'on peut construire un modèle macroéconomique multi-agents à partir des principales hypothèses théoriques de la monnaie endogène. Ce modèle reproduit certains grands traits d'une économie capitaliste industrielle et permet d'étudier le rôle et l'interdépendance de variables macroéconomiques telles que la création monétaire, l'activité industrielle et la répartition des revenus. Il paraît constituer une base pertinente pour le développement de modèles plus complets.

Dans un article en projet, nous présenterons un modèle dérivé dans lequel la contrainte de destruction monétaire à l'échéance du crédit est rigoureusement respectée. Les entreprises incapables de respecter cette obligation sont alors effectivement mises en faillite (elles disparaissent) et c'est à la banque d'assurer la destruction monétaire sur ses fonds propres. Cette contrainte fait apparaître un risque de crise systémique, et la reproduction du modèle de période en période n'est plus assuré. On étudiera alors méthodiquement les limites du domaine de viabilité du système. A l'intérieur de ces limites, on explorera son comportement en faisant varier sur un grand nombre de simulations chacune des principales variables exogènes. Par ces études de sensibilité, on fera apparaître les propriétés macroscopiques du modèle.

Lorsque le modèle aura été ainsi systématiquement éprouvé, on pourra alors introduire les éléments essentiels dont nous avons jusqu'ici fait abstraction — l'investissement et son financement — dans la perspective de la construction d'un modèle macroéconomique multi-agents de croissance endogène.

## Références

- [1] W. Brian Arthur. Out-of equilibrium economics and agent-based modeling. In Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd, editors, *Handbook of computational economics*, volume 2. Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 2006.
- [2] Hassan Bougrine and Mario Seccareccia. Le rôle des impôts dans l'économie nationale. In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris, 2003.
- [3] Olivier Brandouy, Bruno Beaufils, and Mathieu Philippe. Les marchés financiers artificiels. *Revue Française de Gestion*, juillet 2006.
- [4] Charlotte Bruun. Agent-based keynesian economics - simulating a monetary production system bottom-up. Aalborg University, juin 1999.
- [5] André Chaîneau. *Mécanismes et politique monétaires*. Quadrige/Presses universitaires de France, Paris, 2000.
- [6] Christian Descamps and Jacques Soichot. Monnaie endogène et réglementation prudentielle. In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris, 2003.

- [7] Frédéric Dupont and Estiva Reus. Le profit macroéconomique monétaire. *Economie appliquée*, XLII(2) :87–114, 1989.
- [8] Guglielmo Forges Davanzati and Riccardo Realfonzo. Bank mergers, monopoly power and unemployment : A monetary circuit approach. In Giuseppe Fontana and Riccardo Realfonzo, editors, *Monetary Theory of Production Tradition and Perspectives*. Palgrave Macmillan, Basingstoke (UK), 2005.
- [9] Claude Gnos. Circuit theory as an explanation of the complex real world. In Louis-Philippe Rochon and Rossi S, editors, *Modern Theories of Money*, pages 322–338. Edward Elgar, Cheltenham UK, Northampton, USA, 2003.
- [10] Augusto Graziani. Microéconomie et macroéconomie : à qui la priorité ? In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*, pages 121–128. Economica, Paris, 2003.
- [11] Augusto Graziani. *The Monetary Theory of Production*. Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [12] Marc Lavoie. *L'économie postkeynésienne*. La découverte, Paris, 2004.
- [13] Axel Leijonhufvud. Agent-based macro. In Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd, editors, *Handbook of computational economics*, volume 2. Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 2006.
- [14] Marcello Messori. Le circuit de la monnaie : acquis et problèmes non résolus. In Richard Arena and Augusto Graziani, editors, *Production, circulation et monnaie*. Presses universitaires de France, Paris, 1985.
- [15] Marcello Messori and Alberto Zazzaro. Single-period analysis : Financial markets, firms' failures and closure of the monetary circuit. In Giuseppe Fontana and Riccardo Realfonzo, editors, *Monetary Theory of Production Tradition and Perspectives*. Palgrave Macmillan, Basingstoke (UK), 2005.
- [16] Basil J. Moore. L'endogénéité de l'offre de monnaie : fixe-t-on le prix ou la quantité des réserves ? In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris, 2003.
- [17] Alain Parguez. Monnaie et capitalisme : la théorie générale du circuit. In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris, 2003.
- [18] Alain Parguez. The solution of the paradox of profits in money, credit and the state. In Richard Arena and Neri Salvadori, editors, *Essays in Honour of Augusto Graziani*, pages 263–276. Ashgate, London, 2004.
- [19] Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon. Monnaie endogène et économies monétaires de production : l'apport des théories monétaires post keynésienne. In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris, 2003.
- [20] Frédéric Poulon. *La pensée économique de Keynes*. Dunod, Paris, 2004.
- [21] Louis-Philippe Rochon. The creation and circulation of endogenous money : A circuit dynamic approach. *Journal of economic issues*, (1), 1999.
- [22] Louis-Philippe Rochon. The existence of monetary profits within the monetary circuit. In Giuseppe Fontana and Riccardo Realfonzo, editors, *Monetary Theory of Production Tradition and Perspectives*. Palgrave Macmillan, Basingstoke (UK), 2005.
- [23] Juliette Rouchier. Agent-based simulation as a useful tool for the study of markets. Groupement de Recherche en Economie Quantitative d'Aix-Marseille, octobre 2008.
- [24] Leigh Tesfatsion. Agent-based computational modelling and macroeconomics. Department of Economics, Iowa State University, Ames, Iowa, 2005.
- [25] Nicolaas J. Vriend. Ace models of endogenous interaction. In Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd, editors, *Handbook of computational economics*, volume 2. Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 2006.
- [26] L. Randall Wray. L'approche post-keynésienne de la monnaie. In Pierre Piégay and Louis-Philippe Rochon, editors, *Théories monétaires Post Keynésiennes*. Economica, Paris, 2003.