

La productivité

It is preferable to regard labour [...] as the sole factor of production, operating in a given environment of technique, natural resources, capital equipment and effective demand.

Keynes (1936)

Nous avons choisi de modéliser le processus de production comme un lent processus de transformation des forces de travail en marchandises. Dans cet effort de modélisation, nous avons fait abstraction de toutes les différences d'habileté, de compétence, d'énergie et de volonté qui auraient permis de distinguer les forces de travail les unes des autres. Par conséquent, toutes les forces de travail sont considérées comme également productives¹.

Cependant, les forces de travail isolées ne sont pas capables de se transformer en marchandises. Parce que la production de marchandises nouvelles réclame la dépense successive de plusieurs forces de travail, nous avons besoin d'un objet extérieur aux ménages capable d'abriter le processus d'accumulation des forces de travail jusqu'à la délivrance du produit fini : c'est cet objet que nous avons appelé *machine* et qui représente, dans notre modèle, une unité de capital productif.

Comme dans la version actuelle du modèle le capital productif est exogène, il n'y a pas de progrès technologique endogène. Nous aurions donc pu, comme nous l'avons fait pour les forces de travail, considérer toutes les machines comme également productives. Cependant, parce que le modèle dans sa version actuelle n'est

1. Voir la description de l'objet `LabourPower`, chapitre 4, page 91.

qu'une étape intermédiaire du processus de construction d'un modèle que nous voulons plus complet et plus réaliste, et parce que la prochaine étape que nous envisageons est justement l'intégration de l'investissement productif, nous avons choisi de préparer ce développement futur en encapsulant au niveau de chaque machine le taux de conversion de la force de travail en quantité de marchandises, c'est-à-dire la *productivité*².

L'hypothèse de l'exogénéité de la productivité des machines est, on le répète, une simplification considérable. Elle présente cependant l'avantage de permettre au modélisateur de manipuler librement la productivité, ce qui ne sera plus possible lorsque la productivité dépendra d'un investissement endogène. Dans le présent chapitre nous nous proposons donc de profiter de cet inachèvement pour explorer, selon la démarche expérimentale qui nous est à présent familière, le rôle de la productivité des machines sur la dynamique macroéconomique du modèle.

9.1 Niveau moyen de la productivité

Dans chaque scénario, les paramètres pr_F , π_F^F et π_F^M définissent respectivement la productivité moyenne du secteur des entreprises, l'hétérogénéité de la productivité moyenne des entreprises et l'hétérogénéité de la productivité des machines au sein de chaque entreprise. Ainsi, dans le scénario de base qui nous sert de point de fonctionnement de référence du modèle, la productivité moyenne du secteur est égale à 100 ($pr_F = 100$), la productivité moyenne de chacune des entreprises est égale à la productivité moyenne ($\pi_F^F = 0$) et au sein de chaque entreprise les machines ont des productivités hétérogènes uniformément réparties dans l'intervalle $[75; 125]$ ($\pi_F^M = 25\%$)³.

Dans la présente section, nous nous intéressons au rôle du paramètre pr_F sur la dynamique macroéconomique du modèle.

9.1.1 Etude de sensibilité

On conduit une analyse locale de sensibilité du comportement macroéconomique du modèle au niveau général moyen de la productivité des entreprises (pr_F).

2. Voir la description de l'objet `Machine`, chapitre 4, page 92.

3. Voir les paramètres du secteur des entreprises dans le scénario de base, chapitre 6, table 6.3, page 166.

Paramètres

On fait varier le niveau général de la productivité entre 25 et 250⁴. Comme d’habitude, tous les autres paramètres sont fixés aux valeurs du scénario de base; on exécute 10 simulations différentes avec 10 séries de nombres pseudo-aléatoires différentes pour chaque valeur du paramètre étudié; chaque simulation est prévue pour durer 50 ans, durée au bout de laquelle les résultats sont enregistrés.

Le tableau 9.1 présente les paramètres de l’analyse de sensibilité.

| Paramètre étudié | pr_F |
|--|-----------|
| Intervalle des valeurs étudiées | [25; 250] |
| Valeur de référence (scénario de base) | 100 |
| Pas | 25 |
| Nombre de simulations par valeur | 10 |
| Nombre total de simulations | 100 |

TABLE 9.1 – Etude de sensibilité à la productivité moyenne – Paramètres

Conjectures

Dans le scénario de base, lorsqu’on définit la productivité générale moyenne comme égale à 100, on dit que chaque dépense de force de travail donnera en moyenne naissance à un volume de marchandises égal à 100. Or, nulle part dans le modèle n’est définie une grandeur de référence réelle à laquelle ce nombre 100 pourrait être comparé — en particulier, on n’a pas introduit de niveau de consommation de subsistance qui définirait en termes réels les besoins minimaux des ménages et donnerait une échelle au niveau de la productivité.

Autrement dit, on pourrait tout aussi bien poser $pr_F = 10$ ou $pr_F = 1000$ sans que la dynamique macroéconomique du modèle ne soit altérée :

Conjecture 31 *La part des profits n’est pas sensible au niveau de la productivité moyenne.*

4. C’est un intervalle encadrant la valeur de référence ($pr_F = 100$ dans le scénario de base) et suffisamment large pour que la sensibilité du système à ce paramètre soit sérieusement éprouvée.

Conjecture 32 *La vitesse de la monnaie n'est pas sensible au niveau de la productivité moyenne.*

Conjecture 33 *La demande et l'activité ne sont pas sensibles au niveau de la productivité moyenne.*

Cependant, si le niveau de l'activité reste stable, le volume total de la production doit être proportionnel à la productivité moyenne :

Conjecture 34 *Le volume de la production s'élève avec l'augmentation de la productivité moyenne.*

Enfin, si la part des profits reste stable alors que la production augmente, le salaire réel doit augmenter avec la hausse de la productivité. Comme le niveau des salaires nominaux n'a pas de raison d'être affecté par le niveau de la productivité puisque l'activité est supposée stable, on s'attend donc à ce que ce soit le prix unitaire des marchandises qui supporte l'ajustement :

Conjecture 35 *Le prix unitaire diminue avec l'augmentation de la productivité moyenne.*

Résultats

Les graphiques de la figure (9.1) (page 248) présentent les signatures individuelles du paramètre pr_F pour chacune des 8 variables dépendantes étudiées.

Les résultats sont disponibles sur l'ensemble de l'intervalle [25; 250] et plusieurs phases ne semblent pas pouvoir être distinguées. Ces résultats viennent pleinement confirmer toutes nos conjectures :

Conjecture 31 : La part des profits dans le revenu global reste comprise entre 30 et 33% (fig. 9.1f) ;

Conjecture 32 : La vitesse de la monnaie reste comprise entre 3.1 et 3.4 (fig. 9.1e) ;

Conjecture 33 : Le taux de chômage oscille autour de 10.5% (fig. 9.1d), le taux de créances douteuses autour de 26.5% (fig. 9.1g), le nombre total de faillites autour de 260 (fig. 9.1h) ;

Conjecture 34 : Le volume de la production est strictement proportionnel à la productivité (fig. 9.1c) ;

Conjecture 35 : Le prix unitaire du produit est en relation inverse avec la productivité (fig. 9.1a).

Les graphiques des figures 9.1 de la page 249 reflètent la très grande stabilité du modèle devant les variations de la productivité moyenne : comme les variables dépendantes varient peu, les corrélations ne peuvent apparaître (fig. 9.1j, 9.1k et 9.1l) ou n'apparaissent que faiblement (fig. 9.1i). Enfin, la relation très forte observée jusqu'ici entre salaires et prix disparaît, brouillée par les variations du salaire réel causées par les variations de la productivité (fig. 9.1m)⁵.

9.1.2 Etude dynamique : choc de productivité

On aura compris que lorsqu'on parle des variations de la productivité, dans l'analyse de sensibilité précédente, ces variations se situent dans un *temps logique* très éloigné du temps réel : on lance une simulation avec une productivité donnée, on enregistre les résultats, on repart à zéro, on change la productivité, on lance une nouvelle simulation avec cette productivité modifiée, *etc.* C'est un avantage des méthodes de simulation que de permettre de rejouer un très grand nombre de fois la même histoire en ne faisant varier qu'un seul paramètre pour mieux en isoler les effets. C'est ainsi que nous avons pu mettre en évidence la *neutralité* du niveau de la productivité moyenne des entreprises sur la dynamique du modèle.

Nous nous proposons à présent d'éprouver cette *neutralité* dans le *temps historique*, en simulant un choc de productivité au cours d'une simulation, puis en étudiant — comme nous l'avons fait pour le choc négatif de la dépense — la capacité du système à retrouver un équilibre.

Paramètres

Comme d'habitude, on part du scénario de base. On crée un choc de productivité exogène en augmentant brutalement la productivité de chacune des machines en janvier 2040, de façon à obtenir une variation brutale du paramètre (pr_F) .

Le tableau 9.2 présente les paramètres de l'analyse dynamique. Tous les autres paramètres du scénario de base restent inchangés ; en particulier, l'hétérogénéité de la productivité des machines au sein de chaque entreprise est maintenue, le taux d'augmentation de la productivité étant uniforme.

5. Cependant, en étudiant plus attentivement le nuage de points on s'aperçoit qu'il est formé de dix groupes formés chacun de dix points plus ou moins alignés. Chacun de ces alignements correspond à une valeur distincte de pr_F , et la pente de la droite donne le salaire réel moyen pour ce niveau de productivité. Pour que ce résultat soit plus visible, il aurait fallu faire varier la couleur des points en fonction de la valeur du paramètre étudié.

| | |
|----------------------|--------------|
| Paramètre étudié | pr_F |
| Valeur avant le choc | 100 |
| Valeur après le choc | 130 |
| Date du choc | janvier 2040 |

TABLE 9.2 – Etude dynamique – Choc de productivité – Paramètres

Conjectures

Le salaire réel est défini par le rapport des salaires et des prix ; son niveau détermine le partage du produit entre salaires et profits. Après le changement brutal du niveau général de la productivité, la persistance de l'ancien système de valeurs — et en particulier du rapport des salaires et des prix — doit déboucher sur une nouvelle répartition du revenu global beaucoup plus favorable aux profits. Cette nouvelle répartition est en contradiction avec le rapport des vitesses de circulation du circuit *revenu-dépense* et du circuit *force de travail-marchandises* qui, elles, sont restées constantes. On s'attend donc à une crise de l'économie modélisée et à une déstabilisation de l'ancien système de valeurs :

Conjecture 36 *Le changement soudain de la productivité moyenne déstabilise l'ancien système des valeurs et l'économie connaît une crise.*

Compte tenu de ses capacités d'adaptation déjà éprouvées, nous supposons que cette fois-ci encore le système réussira à surmonter la crise par la production d'un nouveau système de valeurs compatibles entre elles ainsi qu'avec la nouvelle valeur de la productivité. L'analyse de sensibilité du modèle aux variations du paramètre pr_F a montré l'insensibilité de la répartition du revenu au niveau de la productivité moyenne sur un grand nombre de simulations. Nous émettons la conjecture que l'ajustement se fera par la formation d'un nouveau rapport entre les salaires et les prix — c'est-à-dire par la formation d'un nouveau salaire réel moyen — permettant le retour à la répartition des revenus observée avant le choc — répartition qui découle du rapport inchangé des vitesses des circuits *revenu-dépense* et *force de travail-marchandises* :

Conjecture 37 *Le système retrouve l'équilibre par la production d'un nouveau rapport des salaires et des prix compatible avec la nouvelle productivité et on observe un retour à l'ancienne répartition des revenus.*

Résultats

Les graphiques des figures 9.2 (pages 250 à 252) présentent l'évolution des principaux indicateurs macroéconomiques et sectoriels au cours des 100 premières années de la simulation. Les 40 premières années sont strictement identiques à celles du scénario de base ; puis, en janvier 2040, intervient un choc provoqué par l'augmentation soudaine de la productivité moyenne des entreprises.

Effets immédiats : Dans les six premiers mois qui suivent le choc, alors que les nouveaux processus plus productifs ne sont pas encore achevés, la production se maintient au niveau antérieur. Cependant, comme les entreprises calculent déjà le niveau normal de leurs stocks d'inventaire sur la base de la nouvelle productivité⁶, elles constatent que le niveau effectif des stocks est insuffisant et réagissent immédiatement par une hausse des prix (fig. 9.2a) et du niveau de production (fig. 9.2f) — et donc des offres d'emplois (fig. 9.2q). Cette réaction se traduit par un brusque mouvement inverse de l'inflation (en hausse, à 9%, fig. 9.2o) et du chômage (en baisse, à 7%, fig. 9.2r) pour l'année 2040 et le point correspondant se distingue clairement sur la courbe de Phillips (fig. 9.2f).

Au niveau monétaire, la hausse du niveau d'activité se traduit pour les entreprises par des besoins de financement accrus et l'on voit s'élever brusquement le niveau des crédits (fig. 9.2i) et des dépôts (fig. 9.2j) — essentiellement du fait de la hausse de la trésorerie des entreprises (fig. 9.2l).

Contre choc : Dès la seconde moitié de l'année 2040, les nouveaux processus de production, beaucoup plus productifs que les anciens, s'achèvent, ce qui se traduit par une hausse brutale de la production en termes réels qui vient se cumuler à celle provoquée par la hausse récente du niveau de l'activité (fig. 9.2g). La consommation, limitée par le niveau des revenus monétaires des agents — et en particulier par le niveau des salaires qui n'a pas progressé (fig. 9.2b) — ne parvient pas à suivre et l'écart entre les deux se traduit par l'explosion des stocks d'inventaire des entreprises (fig. 9.2e).

L'augmentation excessive du niveau des stocks signifie que les entreprises ne parviennent plus à écouler leur production dans les délais normaux ; elles ont donc plus de difficultés à rembourser la banque au terme normal des crédits et le taux de créances douteuses s'élève dangereusement tandis que la multiplication des faillites vient creuser les fonds propres de la banque (fig. 9.2k et 9.2m), laquelle ne parvient plus à distribuer de dividendes (fig. 9.2n).

6. Voir le calcul du niveau normal des stocks d'inventaires, chapitre 4, page 117.

Correction : Devant le niveau excessif de leurs stocks, les entreprises corrigent brutalement leurs plans de production et licencient massivement. Le taux d'utilisation des capacités de production chute (fig. 9.2f), les prix baissent (fig. 9.2a), le chômage atteint jusqu'à 25% des ménages (fig. 9.2r), au point que les salaires eux-mêmes — malgré la résistance des ménages — fléchissent légèrement (fig. 9.2b). Au niveau monétaire, les entreprises réduisent leur endettement (fig. 9.2i) et la masse monétaire décroît pour la première fois depuis la fin de la phase de transition des premières années de la simulation (fig. 9.2j).

L'économie simulée connaît une crise profonde, la conjecture 36 est confirmée.

Stabilisation : Malgré la profondeur de la crise que connaît l'économie, celle-ci parvient lentement à se redresser. Peu à peu, les faillites se font moins nombreuses, les entreprises augmentent prudemment le niveau de la production (fig. 9.2f), le chômage diminue progressivement et les prix recommencent à croître (fig. 9.2c). La courbe de Phillips trace péniblement le chemin du retour de l'économie à l'équilibre (fig. 9.2d). A la fin de la simulation, 60 ans après le choc, les niveaux de chômage et d'inflation ont enfin rejoint des niveaux proches de ceux du scénario de base.

Surtout, on observe que ce retour à la normale n'est atteint que lorsque la répartition des revenus entre salaires et profits, profondément affectée par le choc de productivité, parvient enfin à retrouver les niveaux qui prévalaient avant le choc (fig. 9.2h). La conjecture 37 est pleinement confirmée.

9.2 Hétérogénéité de la productivité des machines au sein des entreprises

Parmi les paramètres fixant les niveaux de productivité dans le secteur des entreprises, le paramètre π_F^M permet de régler l'hétérogénéité des machines au sein de l'entreprise. Dans le cas du scénario de base, où la productivité moyenne est égale à 100 ($pr_F=100$) et les entreprises sont toutes également productives ($\pi_F^F=0$), le fait que le paramètre π_F^M soit égal à 25% signifie qu'au sein de chacune des entreprises, les machines ont des productivités différentes et que ces productivités sont régulièrement réparties dans l'intervalle [75; 125] (entre -25% et +25% autour de la productivité moyenne de l'entreprise).

Pourquoi avoir introduit un tel paramètre ? A l'origine, simplement pour pouvoir tester la procédure qui permet à l'usine, lorsqu'elle travaille en dessous de la pleine utilisation de ses capacités de production, de choisir les machines sur lesquelles affecter la main d'oeuvre disponible. On se souvient peut-être que la direction de l'usine

choisit prioritairement d'affecter la main d'oeuvre sur les machines contenant un processus de production inachevé. Mais lorsque deux machines abritent des processus également avancés, la direction de l'usine choisira systématiquement d'affecter la main d'oeuvre disponible à la machine la plus productive⁷. Par conséquent, plus le parc de machines de l'usine sera hétérogène, plus le rendement de l'usine sera décroissant.

Dans une version future, lorsque l'investissement productif et le progrès technologique auront été intégrés au modèle, l'hétérogénéité de la productivité des machines au sein de l'entreprise sera une variable endogène. Pour le moment, c'est un paramètre exogène que nous pouvons librement manipuler et nous en profitons pour en explorer le rôle dans la dynamique macroéconomique du modèle.

9.2.1 Etude de sensibilité

On conduit une analyse locale de sensibilité du comportement macroéconomique du modèle au niveau de l'hétérogénéité de la productivité des machines au sein des entreprises (π_F^M).

Paramètres

On laisse le niveau de productivité moyen (pr_F) fixé à 100, on fait varier le paramètre π_F^M entre 0 et 50% :

- pour $\pi_F^M = 0$, toutes les machines d'une même entreprise ont la même productivité égale à 100 ;
- pour $\pi_F^M = 0.25$, la productivité des machines de chaque entreprise est répartie entre 75 et 125 (cas du scénario de base) ;
- pour $\pi_F^M = 0.50$, la productivité des machines de chaque entreprise est répartie entre 50 et 150.

Comme d'habitude, tous les autres paramètres sont fixés aux valeurs du scénario de base, on exécute 10 simulations différentes avec 10 séries de nombres pseudo-aléatoires différentes pour chaque valeur du paramètre étudié, et chaque simulation est prévue pour durer 50 ans, durée au bout de laquelle les résultats sont enregistrés.

Le tableau 9.3 présente les paramètres de l'analyse de sensibilité.

Conjectures

Nous ne nous attendons à aucune influence importante de ce paramètre que nous jugeons secondaire. En particulier, puisque les modifications de ce paramètre ne sont

7. Voir la description de l'objet **Factory**, chapitre 4, page 91.

| Paramètre étudié | π_F^M |
|--|-----------|
| Intervalle des valeurs étudiées | [0;0.5] |
| Valeur de référence (scénario de base) | 0.25 |
| Pas | 0.02 |
| Nombre de simulations par valeur | 10 |
| Nombre total de simulations | 260 |

TABLE 9.3 – Analyse de sensibilité de l’hétérogénéité de la productivité des machines – Paramètres

pas sensées affecter les différentes vitesses de circulation réelles et monétaires, la répartition du revenu doit rester inchangée.

Cependant, dans la mesure où les entreprises fonctionnent en général (du moins dans le scénario de base) à moins de 70% de leurs capacités de production, on s’attend à ce qu’une hétérogénéité de la productivité des machines croissante se traduise par un volume de production croissant, puisque les machines les moins productives seront moins souvent utilisées :

Conjecture 38 *La dynamique macroéconomique du modèle est globalement insensible au niveau d’hétérogénéité de la productivité des machines au sein des entreprises. En particulier, la répartition du revenu reste insensible aux variations du paramètre fixant cette hétérogénéité.*

Conjecture 39 *Le volume de la production augmente avec l’hétérogénéité de la productivité des machines au sein des entreprises.*

Résultats

Les graphiques des figures 9.3 (page 253) présentent les signatures individuelles du paramètre π_F^M pour chacune des 8 variables dépendantes étudiées.

Les résultats sont disponibles sur l’ensemble de l’intervalle [0;0.5] et plusieurs phases ne semblent pas pouvoir être distinguées.

La conjecture 39 d’une certaine corrélation positive du volume de la production avec l’hétérogénéité de la productivité des machines au sein des entreprises est confirmée : on observe bien une certaine croissance de la production avec l’élévation du paramètre π_F^M (fig. 9.3c).

En revanche, on ne peut pas tenir la conjecture 38 (insensibilité de la dynamique macroéconomique) pour pleinement confirmée. Certes, la stabilité générale du modèle n'est pas affectée ; les salaires et les prix comme le taux de chômage paraissent dans l'ensemble insensibles aux variations du paramètre π_F^M ; cependant, à la limite supérieure de la gamme des valeurs étudiées (pour $\pi_F^M > 0.46$), un mouvement semble s'amorcer (fig. 9.3a, 9.3b et 9.3d). De plus, sur l'ensemble de l'intervalle étudié, on observe une très légère sensibilité positive de la vitesse de monnaie et une très légère sensibilité négative de la part des profits aux variations du paramètre π_F^M (fig. 9.3e et 9.3f). Enfin, et de façon très inattendue, on observe une nette sensibilité négative des créances douteuses et surtout du nombre des faillites d'entreprises à l'hétérogénéité de la productivité des machines (fig. 9.3g et 9.3h).

La seule explication que nous ayons à proposer pour ce dernier résultat se situe au niveau microéconomique : les entreprises dont la productivité du parc des machines est hétérogène sont plus résistantes aux difficultés accidentelles puisque lorsque ces difficultés les conduisent à réduire le niveau d'utilisation des capacités de production leur rendement augmente.

9.3 Hétérogénéité de la productivité des entreprises

Jusqu'à présent, dans toutes les simulations que nous avons menées, toutes les entreprises étaient dotées d'un capital productif identique : même nombre de machines, même productivité. C'est bien sûr une simplification considérable par rapport au monde réel et lorsque l'investissement productif et le progrès technologique auront été intégrés au modèle, on s'attend à observer d'intéressantes dynamiques dans la répartition de la population des entreprises sur ces deux axes.

Nous n'en sommes pas là et pour le moment, nous nous proposons simplement de manipuler directement le paramètre fixant l'hétérogénéité de la productivité des entreprises pour en mesurer l'impact sur la dynamique macroéconomique du modèle.

9.3.1 Analyse de sensibilité

On conduit une analyse locale de sensibilité du comportement macroéconomique du modèle au niveau de l'hétérogénéité de la productivité des entreprises (π_F^F).

Paramètres

On fait varier le paramètre π_F^F entre 0 et 68, le niveau de productivité moyen de l'économie restant fixé à 100 :

- pour $\pi_F^F = 0$, toutes les entreprises ont la même productivité égale à 100 (cas du scénario de base) ;
- pour $\pi_F^F = 25$, la productivité des entreprises est uniformément répartie entre 75 et 125 ;
- pour $\pi_F^F = 68$, la productivité des entreprises est uniformément répartie entre 32 et 168.

Comme d’habitude, tous les autres paramètres sont fixés aux valeurs du scénario de base ; on exécute 10 simulations différentes avec 10 séries de nombres pseudo-aléatoires différentes pour chaque valeur du paramètre étudié ; chaque simulation est prévue pour durer 50 ans, durée au bout de laquelle les résultats sont enregistrés.

Le tableau 9.4 présente les paramètres de l’analyse de sensibilité.

| Paramètre étudié | π_F^F |
|--|-----------|
| Intervalle des valeurs étudiées | [0 ;68] |
| Valeur de référence (scénario de base) | 0 |
| Pas | 4 |
| Nombre de simulations par valeur | 10 |
| Nombre total de simulations | 180 |

TABLE 9.4 – Analyse de sensibilité de l’hétérogénéité de la productivité des entreprises – Paramètres

Conjectures

Comme pour l’hétérogénéité de la productivité des machines au sein des entreprises, l’hétérogénéité de la productivité entre les entreprises ne semble pas, *a priori*, devoir jouer un rôle important sur la dynamique du modèle. Dans la mesure où les modifications de ce paramètre ne sont pas sensées affecter les différentes vitesses de circulation, la répartition du revenu doit rester inchangée :

Conjecture 40 *La dynamique macroéconomique du modèle est globalement insensible au niveau d’hétérogénéité de la productivité entre les entreprises. En particulier, la répartition du revenu reste insensible aux variations du paramètre fixant cette hétérogénéité.*

Cependant, l'accroissement de l'hétérogénéité de la productivité des entreprises signifie que certaines entreprises vont être constamment moins rentables que d'autres. Plus π_F^F sera grand, plus les entreprises les moins productives se rapprocheront du seuil de rentabilité, voire passeront sous ce seuil. On s'attend donc à voir augmenter les difficultés des entreprises avec l'augmentation du paramètre π_F^F :

Conjecture 41 *Les difficultés des entreprises augmentent avec l'augmentation de l'hétérogénéité de leur productivité.*

Résultats

Les graphiques de la figure 9.4 (page 255) présentent les signatures individuelles du paramètre π_F^F pour chacune des 8 variables dépendantes étudiées.

Phases : On distingue trois phases dans le comportement de l'économie selon la valeur du paramètre étudié :

$\pi_F^F \leq 35$: La dynamique macroéconomique du modèle est insensible au niveau d'hétérogénéité de la productivité entre les entreprises (conjecture 40). Salaires et prix évoluent ératiquement de conserve, maintenant un rapport apparemment constant et gravitant autour de niveaux moyens stables (fig. 9.4a et 9.4b). La production (fig. 9.4c), le chômage (fig. 9.4d), la vitesse de la monnaie (fig. 9.4e), le niveau des créances douteuses (fig. 9.4g), toutes ces variables paraissent insensibles au niveau d'hétérogénéité des entreprises. Comme nous l'avions prévu (conjecture 41), le nombre de faillites (fig. 9.4h) augmente avec π_F^F .

Cependant, contrairement à nos attentes, la part des profits n'est pas complètement insensible à l'hétérogénéité de la productivité des entreprises (fig. 9.4h) : on observe une légère augmentation de la part des profits sur l'intervalle étudié.

$35 < \pi_F^F \leq 52$: Les difficultés des entreprises s'accroissent fortement avec l'augmentation de l'hétérogénéité de la productivité des entreprises, ce qui se traduit à la fois par une augmentation de la part des créances douteuses à l'actif de la banque et par une accélération du nombre des faillites d'entreprises (fig. 9.4g et 9.4h).

Mais le résultat le plus intéressant est aussi le plus inattendu : l'augmentation de l'hétérogénéité de la productivité des entreprises entraîne une hausse marquée de la part des profits (fig. 9.4h).

$52 < \pi_F^F$: Les faillites des entreprises sont si nombreuses qu'elles entraînent la faillite de la banque et l'interruption prématurée des simulations.

Part des profits : L'explication de la hausse de la part des profits au-dessus d'un certain seuil d'hétérogénéité de la productivité des entreprises exigerait des investigations plus poussées, au moyen d'un plan d'expérience spécifique. Pour le moment, nous pouvons seulement émettre la conjecture suivante :

- nous savons que l'augmentation de l'hétérogénéité de la productivité des entreprises entraîne la distinction entre des entreprises structurellement moins rentables (les moins productives) que d'autres (les plus productives) — pour le moment la somme des deux mouvements paraît être nulle ;
- mais il est vraisemblable qu'au-dessus d'un certain seuil d'hétérogénéité, les entreprises les moins rentables sont incapables d'atteindre le ratio normal d'indépendance financière alors que dans le même temps, les entreprises les plus rentables n'élèvent pas leur ratio d'indépendance financière au-dessus du ratio normal : cette dissymétrie croissante doit se traduire par une baisse du niveau moyen d'autonomie financière des entreprises ;
- or nous savons que la baisse du ratio d'autonomie financière est favorable à l'élévation de la part des profits⁸.

Cette explication se heurte cependant à une difficulté : elle revient à expliquer la hausse de la part des profits par une baisse du taux d'épargne moyen dans l'économie simulée, mais dans ce cas-là, on devrait observer une hausse de la vitesse de la monnaie, ce qui n'est pas le cas (fig. 9.4e).

9.3.2 Etude dynamique : dysfonctionnement bancaire

Nous venons de constater que la répartition du revenu était plus favorable aux profits dans une économie peuplée d'entreprises dont la productivité était fortement hétérogène que dans une économie peuplée d'entreprises dont la productivité était faiblement hétérogène. Nous avons émis la conjecture que l'explication de ce phénomène se trouvait dans la sphère monétaire, à travers une réduction du niveau d'autofinancement des entreprises — ou, autrement dit, une augmentation de leur taux d'endettement.

Nous nous proposons à présent de pousser ce scénario à l'extrême dans le cadre d'une étude dynamique⁹. Nous ne partons pas du scénario de base, mais de l'un des scénarios de l'analyse de sensibilité précédente, avec une économie peuplée d'entreprises de productivité très hétérogène. Nous laissons ce scénario se dérouler norma-

8. Voir les résultats de l'analyse de sensibilité à l'objectif d'autonomie financière des entreprises, chapitre 8, page 210.

9. La présente section reprend, avec quelques modifications, une étude déjà présentée dans Seppecher (2010a).

lement pendant les 40 premières années; puis, pour simuler un dysfonctionnement bancaire, nous modifions le comportement de la banque de telle sorte qu'elle devienne parfaitement accommodante.

Paramètres

Nous partons d'un des scénarios de l'analyse de sensibilité précédente. Dans ce scénario, la productivité des entreprises est très hétérogène ($\pi_F^F = 50$)¹⁰. En janvier 2040, nous modifions le comportement de la banque, qui devient parfaitement accommodante avec les entreprises en difficulté.

Le tableau 9.5 présente les paramètres de l'analyse dynamique. Tous les autres paramètres du scénario de base restent inchangés.

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Paramètre étudié 1 | π_F^F |
| Valeur avant le choc | 50 |
| Valeur après le choc | 50 |
| Paramètre étudié 2 | Comportement de la banque |
| Valeur avant le choc | Non accommodante |
| Valeur après le choc | Accommodante |
| Date du choc | janvier 2040 |

TABLE 9.5 – Etude dynamique – Dysfonctionnement bancaire – Paramètres

Conjectures

Pendant les 40 premières années, la simulation doit donner des résultats cohérents avec les observations de la précédente analyse de sensibilité dont elle est tirée. On s'attend à ce que la présence d'entreprises trop peu productives pour être rentables se traduise par un fort taux de créances douteuses à l'actif de la banque ($\approx 35\%$) et un nombre élevé de faillites (≈ 11 par an), ainsi qu'un niveau élevé des profits

10. Contre $\pi_F^F = 0$ dans le scénario de référence. Avec $\pi_F^F = 50$, la productivité des entreprises est uniformément répartie dans l'intervalle $[50; 150]$: l'entreprise la moins productive a une productivité égale à 50 unités de marchandises par machine et par mois, la plus productive a une productivité égale à 150 unités de marchandises par machine et par mois.

($\approx 41\%$). A part ces modifications, on s'attend à un comportement relativement proche de celui du scénario de base.

En revanche, après le changement de comportement de la banque, les règles de la sphère monétaire sont profondément modifiées : les entreprises non rentables ne sont plus condamnées à la faillite, et si la contrainte d'annulation de leurs créances à l'échéance du crédit est toujours respectée, ce n'est plus par une ponction sur les fonds propres de la banque, mais grâce à une création de monnaie nouvelle correspondant aux nouveaux prêts accordés. Les entreprises défailtantes ne parvenant à rembourser les prêts anciens que grâce aux prêts nouveaux, elles se trouvent engagées dans un « schéma de Ponzi » et leur dette ne cesse de s'accroître. Cette croissance doit être perceptible au bilan de la banque à la fois par une accélération de la croissance des crédits et par une augmentation de la part des créances douteuses dans ces crédits :

Conjecture 42 *L'attitude accommodante de la banque entraîne une augmentation progressive du niveau des créances douteuses à l'actif de la banque.*

Si la conjecture 42 est vérifiée, la dette croissante des entreprises non rentables doit avoir pour contrepartie une création monétaire croissante qui va venir s'ajouter à celle normalement suscitée par l'activité économique normale. On s'attend donc à observer une accélération de la croissance des dépôts :

Conjecture 43 *L'attitude accommodante de la banque entraîne une accélération de la croissance des dépôts au passif de la banque.*

Si la conjecture 43 est vérifiée, c'est que les entreprises non rentables jettent sans cesse dans l'économie de la monnaie que leur faible productivité leur interdit de récupérer par l'écoulement de leur production. Cette monnaie va circuler indéfiniment dans l'économie et on s'attend à ce qu'elle vienne alimenter la demande sur le marché des biens, soutenir l'activité. Cette hausse de la demande et de l'activité doit être favorable aux profits :

Conjecture 44 *L'attitude accommodante de la banque entraîne une hausse de la demande et de l'activité.*

Conjecture 45 *L'attitude accommodante de la banque entraîne une hausse de la part des profits dans le revenu global.*

Résultats

Les graphiques des figures 9.5 (pages 257 à 259) présentent l'évolution des principaux indicateurs macroéconomiques et sectoriels au cours des 100 premières années

de la simulation. Les 40 premières années sont conformes au comportement déduit de l'analyse de sensibilité de la section précédente ; puis, en janvier 2040, on modifie le comportement de la banque.

Le choc : Le changement de comportement de la banque a pour effet direct la disparition des faillites (fig. 9.5m). Les entreprises les moins productives, qui jusque là étaient à intervalle plus ou moins régulier rejetées hors de la sphère économique par la banque, peuvent à présent s'y maintenir, malgré leur incapacité à rembourser leur dette.

On observe un gonflement des actifs bancaires qui atteignent 2.5 milliards en 2100 (fig. 9.5i), soit le double de l'encours constaté à la même date dans le scénario de base¹¹ (conjecture 43). Ce gonflement s'explique en grande partie par la croissance des créances douteuses qui atteignent, à la même date, 70 % de l'encours total (fig. 9.5k). Une analyse détaillée des comptes des entreprises¹² montre que cette mauvaise dette est essentiellement le fait d'un petit nombre d'entreprises, celles dont la trop faible productivité ne leur permet pas de rembourser normalement leurs dettes (conjecture 42).

Une bulle du crédit : L'accumulation des créances douteuses à l'actif de la banque forme une bulle d'une telle ampleur que le système bancaire ne saurait supporter son apurement sur ses seuls fonds propres. Cette bulle se traduit simultanément par une création monétaire indue, dont l'effet sur l'économie réelle n'est pas neutre. En alimentant la demande de biens, elle soutient l'activité économique qui atteint des niveaux exceptionnels (fig. 9.5g). Pour faire face à la demande, les entreprises augmentent leur niveau de production sans parvenir à maintenir le niveau des stocks (fig. 9.5f et 9.5e). Le nombre de chômeurs diminue et le nombre d'emplois vacants s'élève (fig. 9.5q, 9.5t et 9.5s). La conjecture 44 est confirmée.

La surchauffe : Les prix et les salaires augmentent à un rythme élevé (fig. 9.5c et 9.5d) ; cependant, l'affaïssement du salaire réel (fig. 9.5w) montre que l'augmentation des prix est plus rapide que celle des salaires. Le mouvement inverse du taux de chômage et du taux d'inflation (fig. 9.5c) dessine une courbe de Phillips bien marquée, illustrant le cheminement de l'économie vers la surchauffe (fig. 9.5d). L'effondrement des salaires réels et l'augmentation du taux de marge des entreprises se

11. Voir la figure 6.1i, chapitre 6, page 176.

12. On se souvient que c'est un des atouts des modèles multi-agents que de permettre de suivre pas à pas l'état de chacun des agents, chaque fois que le besoin s'en fait sentir.

traduisent par l'explosion de la part des profits dans le revenu global (fig. 9.5h). La conjecture 45 est confirmée.

Et la crise ? Ce scénario permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par le système bancaire dans la stabilité économique et sociale d'une économie monétaire. Cependant, on s'étonne de voir la bulle des créances douteuses enfler ainsi sans limites et on se demande alors quels sont les mécanismes, présents dans le monde réel mais absents de notre modèle, susceptibles d'empêcher — ou du moins d'interrompre — le développement d'un tel schéma de Ponzi à l'échelle d'une économie entière.

Pour nous, sans aucun doute, l'utilisation d'un agent représentatif du secteur bancaire vient expliquer la possibilité d'un scénario aussi extrême. Si au contraire le secteur bancaire était représenté par plusieurs agents bancaires, autonomes et concurrents, en interaction par l'intermédiaire d'un marché monétaire, le dysfonctionnement d'un des agents bancaires serait sanctionné par sa faillite entraînant, selon les circonstances, soit un retour à l'ordre antérieur, soit une crise bancaire généralisée.

Bien sûr, il ne s'agit là que d'une conjecture nouvelle qui demande à être vérifiée par la simulation. Le relâchement de l'hypothèse simplificatrice d'un agent représentatif du secteur bancaire fait donc partie de nos projets.

9.4 Conclusion

Nos premières explorations ont montré que, pour chaque combinaison des vitesses du circuit *revenu-consommation* et du circuit *force de travail-marchandise*, il existait une répartition du revenu global entre salaires et profits vers laquelle tendait l'économie considérée et qui permettait sa stabilisation¹³. Le niveau moyen de la productivité, parce qu'il ne joue aucun rôle dans la vitesse des deux circuits, ne doit pas avoir d'effet sur la dynamique de long terme du modèle et c'est ce que nous avons vérifié par une première série de simulations.

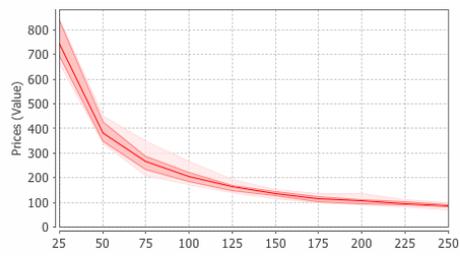
En revanche, nous avons ensuite observé qu'une brusque variation de la productivité moyenne peut entraîner une déstabilisation de l'économie modélisée. L'ancien rapport des salaires et des prix, combiné avec la nouvelle productivité, entraîne un déséquilibre : les entreprises produisent beaucoup plus pour des coûts de production inchangés, la répartition du revenu global est déstabilisée en faveur des profits ; cependant, compte tenu de la faiblesse des salaires relativement au produit global, la

13. Chapitre 7 (page 178 et suivantes) et chapitre 8 (page 203 et suivantes).

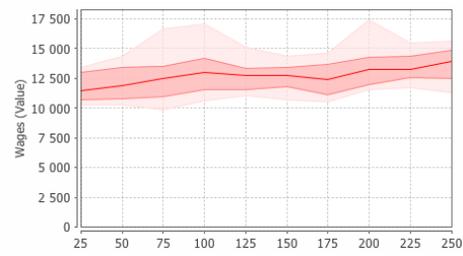
demande ne suit pas et l'économie entre en crise. C'est par l'émergence d'un nouveau rapport des salaires et des prix permettant le rétablissement de la répartition du revenu à son niveau d'avant la crise que l'économie parvient finalement à retrouver la stabilité. Le rapport des vitesses des circuits *revenu–consommation* et *force de travail–marchandise* semble donc définir une sorte de *répartition du revenu d'équilibre* vers laquelle l'économie tend spontanément à long terme, malgré les perturbations de court terme.

Les expériences suivantes, qui portent sur l'hétérogénéité de la productivité au sein des entreprises et entre les entreprises, ne remettent pas en cause ces résultats mais viennent les complexifier. Au sein des entreprises, l'hétérogénéité de la productivité des machines joue un rôle stabilisateur. Entre les entreprises, au-dessus d'un certain seuil d'hétérogénéité de la productivité, la présence d'entreprises peu productives modifie les conditions moyennes d'autofinancement du secteur, l'accroissement des difficultés de quelques unes se révélant profitable à l'ensemble.

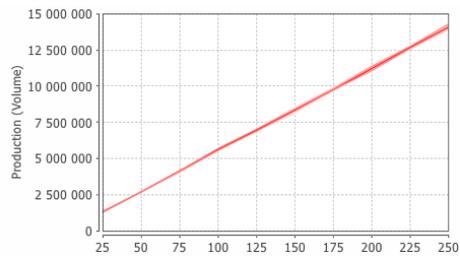
Cependant, tant que le système bancaire reste vigilant, contrôlant la rentabilité des entreprises, sanctionnant les moins rentables et limitant la croissance des créances douteuses, le lien entre monnaie et production est maintenu et l'équilibre macroéconomique du modèle est préservé. En revanche, si la banque ne mesure pas les risques encourus et accorde sans cesse de nouveaux crédits qui ne pourront être remboursés, alors les règles de fonctionnement de la sphère monétaire sont profondément altérées. La destruction monétaire n'est plus assurée qu'au prix d'une création monétaire sans cesse croissante. Cette monnaie nouvelle n'a pas de contrepartie dans la sphère réelle et se traduit par la formation d'une bulle de créances douteuses. Le risque croissant supporté par le système bancaire, au-delà de ce que ses fonds propres lui permettent, traduit une disjonction croissante des sphères réelle et monétaire. La monnaie indûment créée alimente l'inflation des profits, lesquels soutiennent la demande et l'activité, donnant l'illusion d'une économie en bonne santé. En réalité, loin de refléter une plus grande efficacité du système, cette hausse des profits constitue avec la baisse du salaire réel la manifestation la plus sensible d'un dérèglement profond.



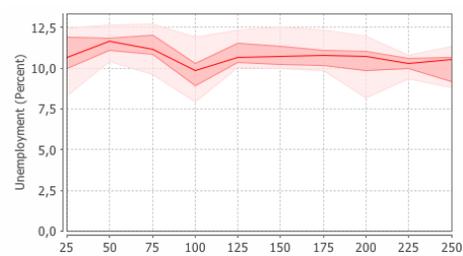
(a) Prix



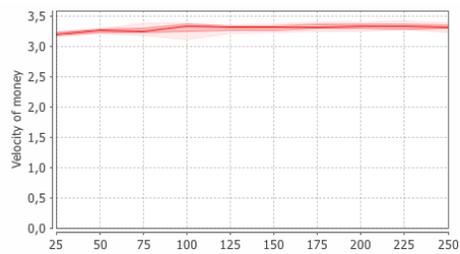
(b) Salaires



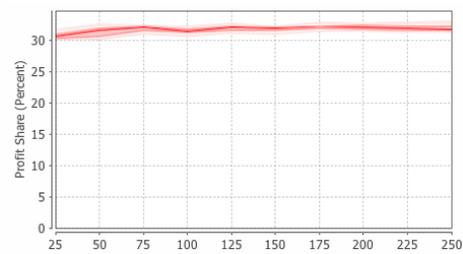
(c) Production



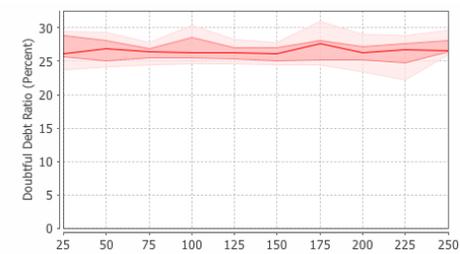
(d) Chômage



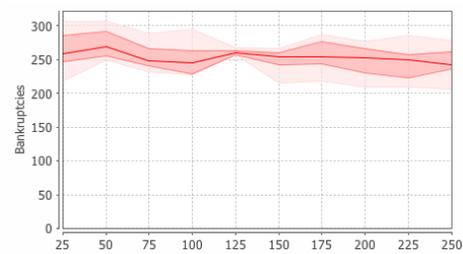
(e) Vitesse de la monnaie



(f) Part des profits

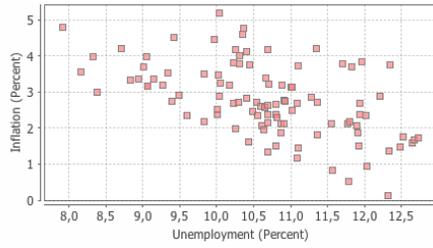


(g) Créances douteuses

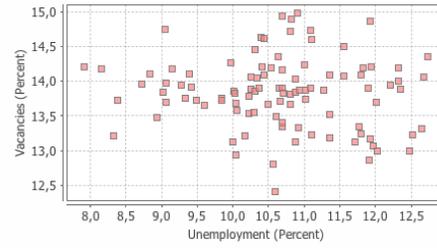


(h) Faillites

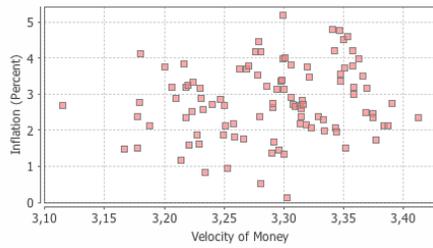
FIGURE 9.1 – Niveau de la productivité moyenne – Sensibilités



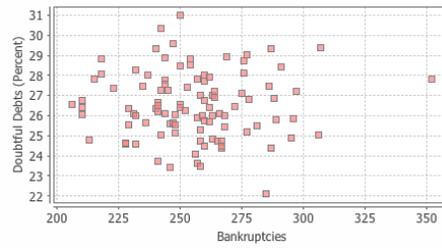
(i) Courbe de Phillips



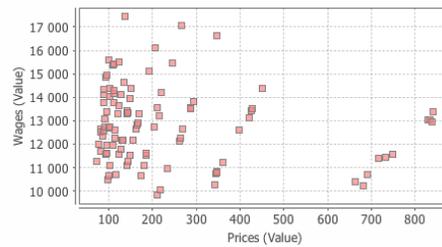
(j) Courbe de Beveridge



(k) Vitesse de la monnaie et inflation



(l) Faillites et créances douteuses

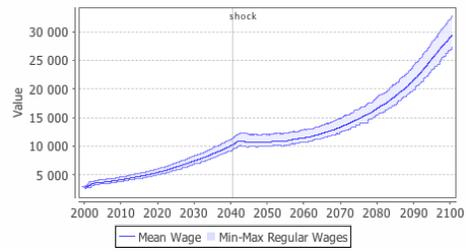


(m) Prix et salaires

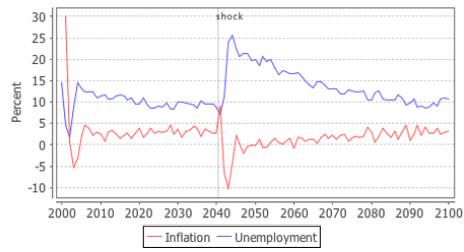
FIGURE 9.1 – Niveau de la productivité moyenne – Corrélations



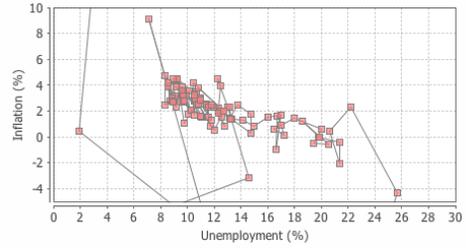
(a) Prix



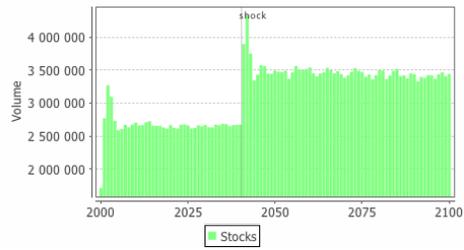
(b) Salaires



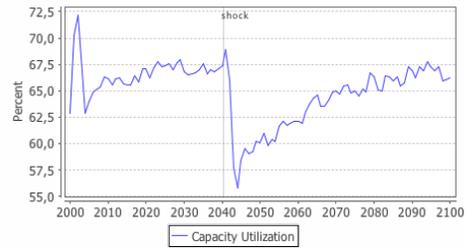
(c) Inflation et chômage



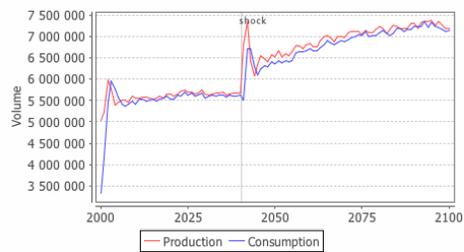
(d) Courbe de Phillips



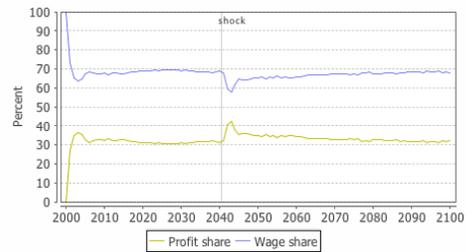
(e) Niveau des stocks



(f) Utilisation des capacités

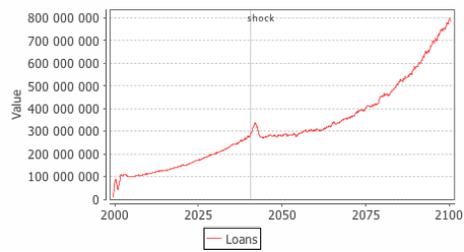


(g) Marché des biens (volume)

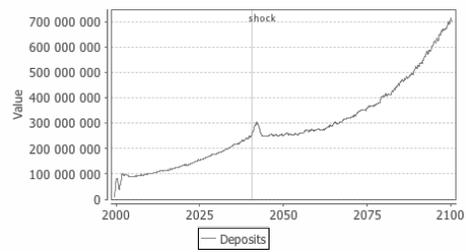


(h) Répartition des revenus

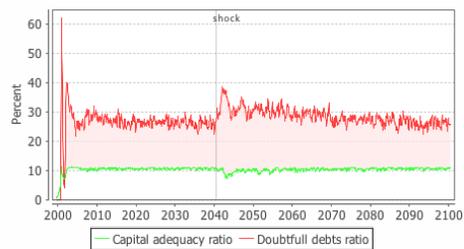
FIGURE 9.2 – Choc de productivité – Principaux indicateurs macroéconomiques



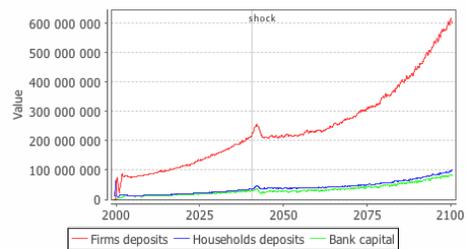
(i) Crédits



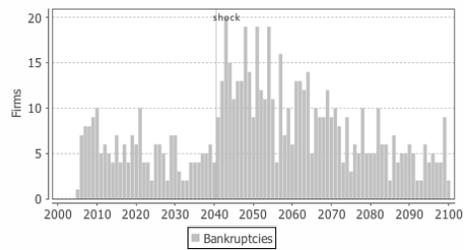
(j) Dépôts



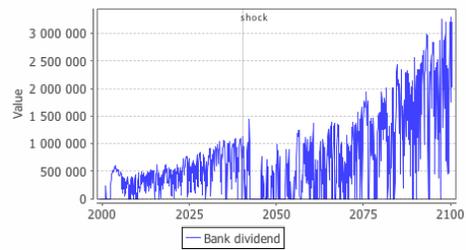
(k) Fonds propres et créances douteuses



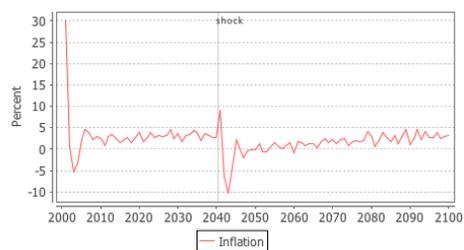
(l) Passif de la banque



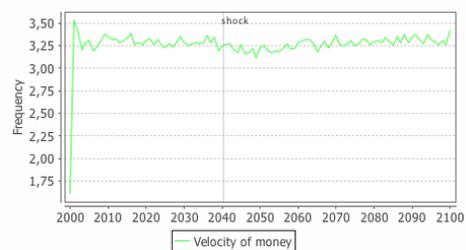
(m) Faillites



(n) Dividendes bancaires

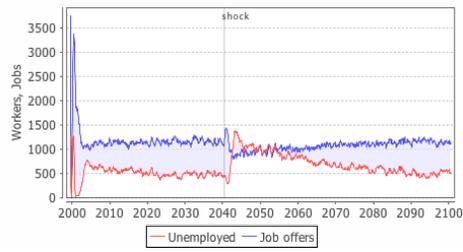


(o) Inflation

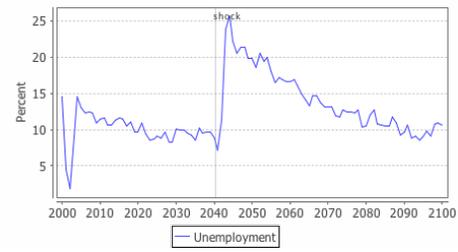


(p) Vitesse de la monnaie

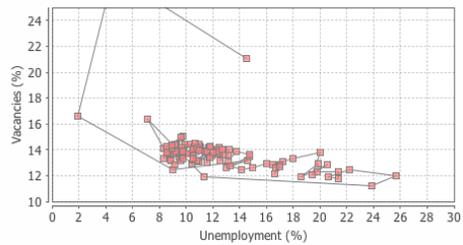
FIGURE 9.2 – Choc de productivité – Indicateurs bancaires et monétaires



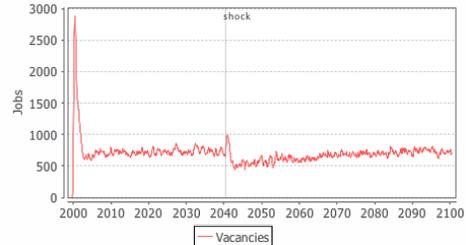
(q) Marché du travail



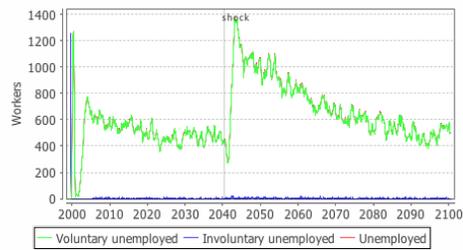
(r) Chômage



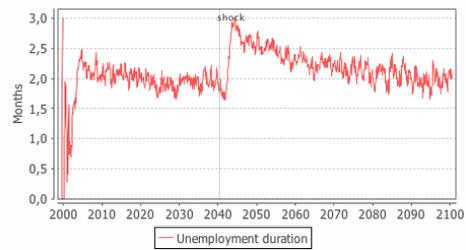
(s) Courbe de Beveridge



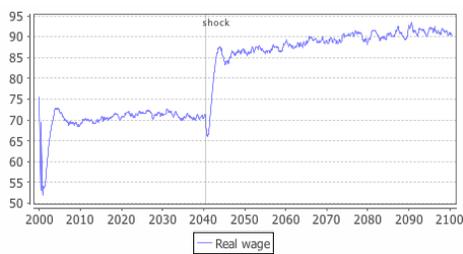
(t) Emplois vacants



(u) Types de chômage

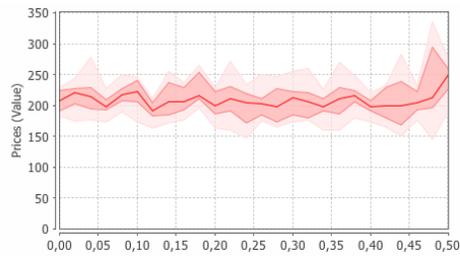


(v) Durée moyenne du chômage

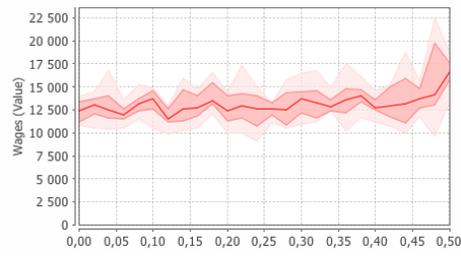


(w) Salaire réel

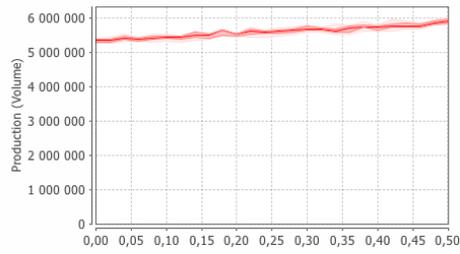
FIGURE 9.2 – Choc de productivité – Indicateurs du marché du travail



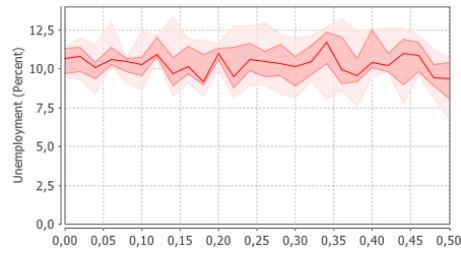
(a) Prix



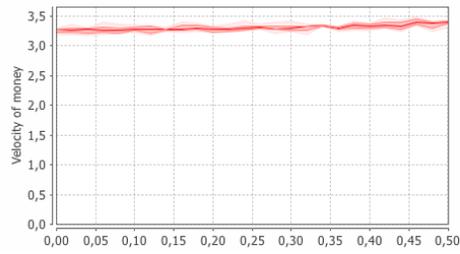
(b) Salaires



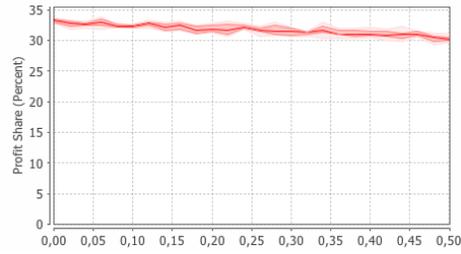
(c) Production



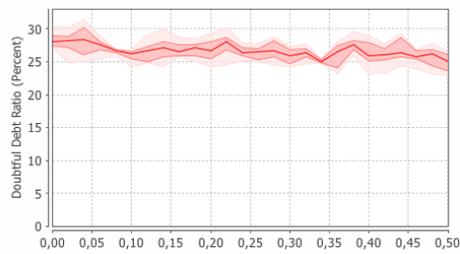
(d) Chômage



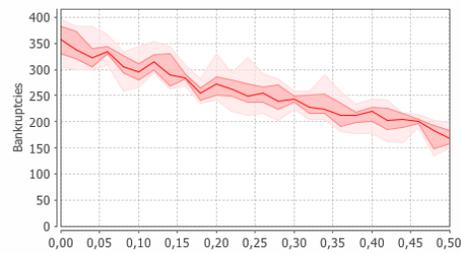
(e) Vitesse de la monnaie



(f) Part des profits

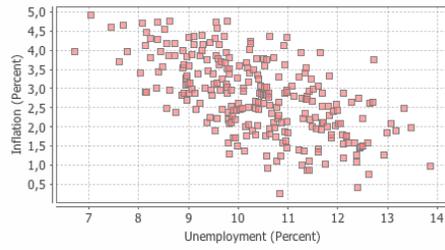


(g) Créances douteuses

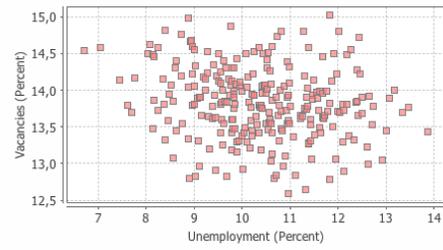


(h) Faillites

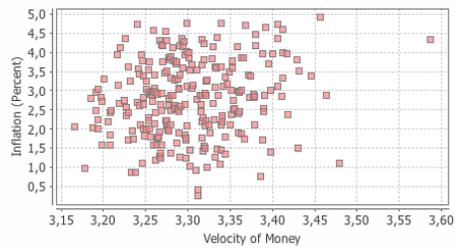
FIGURE 9.3 – Hétérogénéité de la productivité des machines – Sensibilités



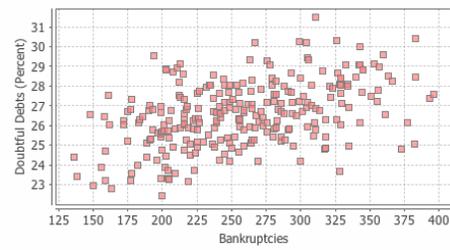
(i) Courbe de Phillips



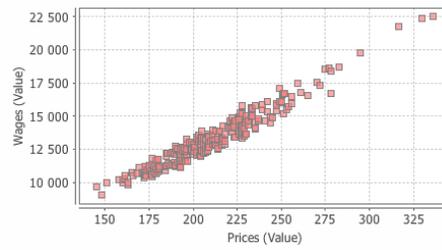
(j) Courbe de Beveridge



(k) Vitesse de la monnaie et inflation

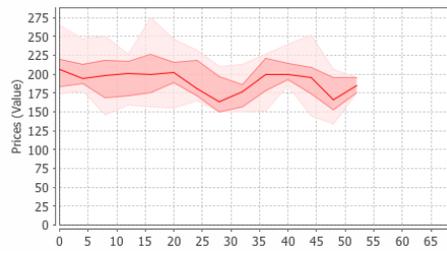


(l) Faillites et créances douteuses

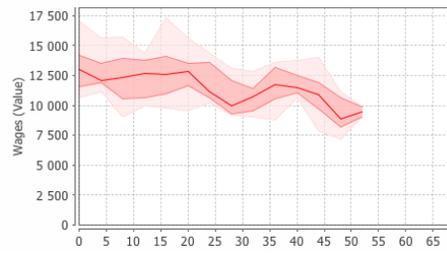


(m) Prix et salaires

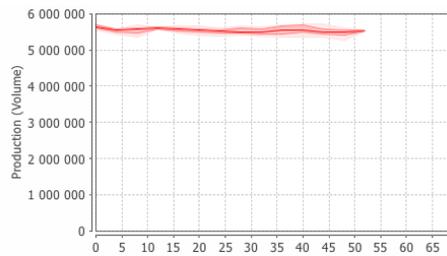
FIGURE 9.3 – Hétérogénéité de la productivité des machines – Corrélations



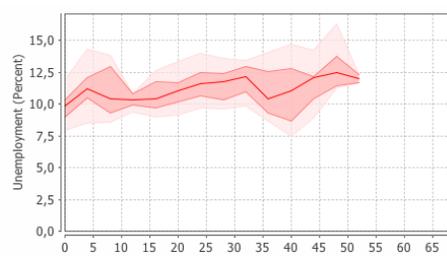
(a) Prix



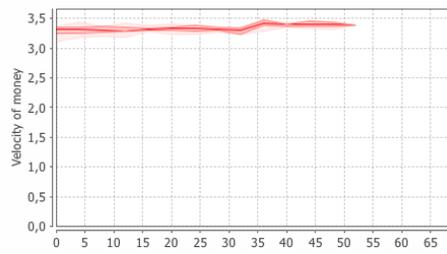
(b) Salaires



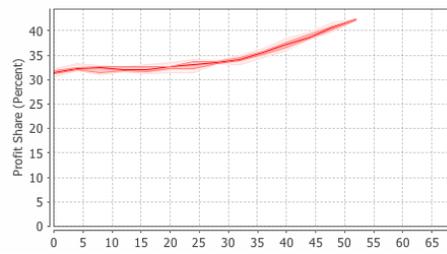
(c) Production



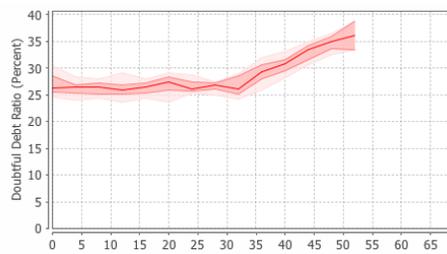
(d) Chômage



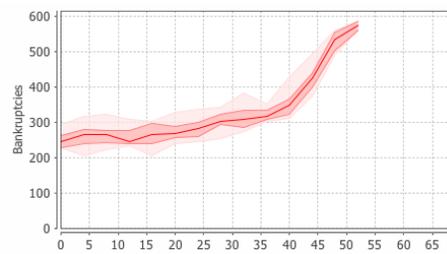
(e) Vitesse de la monnaie



(f) Part des profits

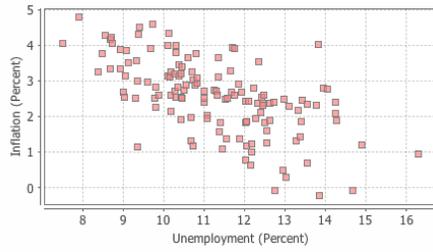


(g) Créances douteuses

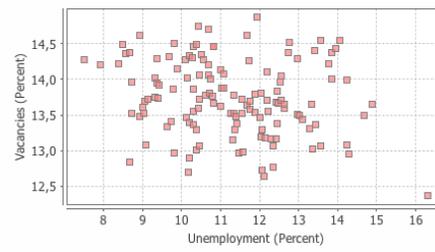


(h) Faillites

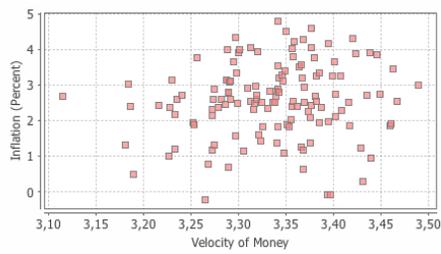
FIGURE 9.4 – Hétérogénéité de la productivité des entreprises – Sensibilités



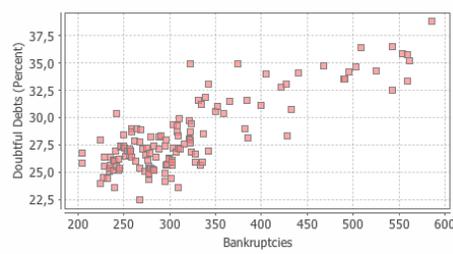
(i) Courbe de Phillips



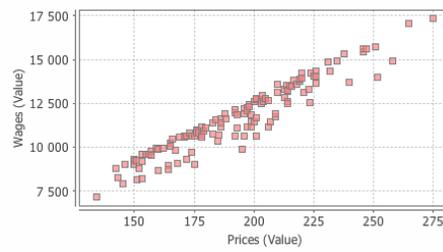
(j) Courbe de Beveridge



(k) Vitesse de la monnaie et inflation



(l) Faillites et créances douteuses

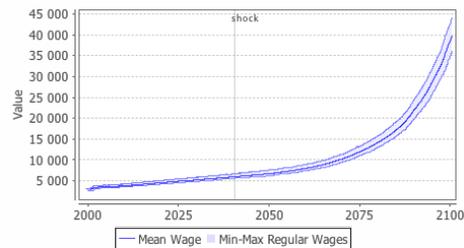


(m) Prix et salaires

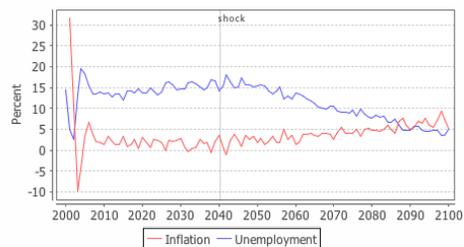
FIGURE 9.4 – Hétérogénéité de la productivité des entreprises – Corrélations



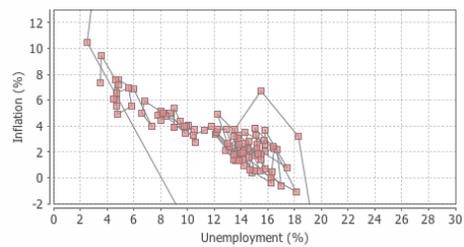
(a) Prix



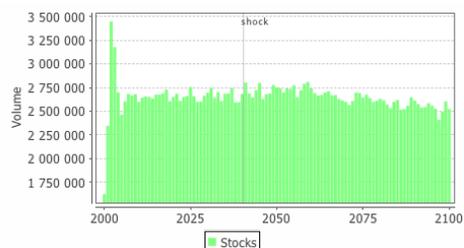
(b) Salaires



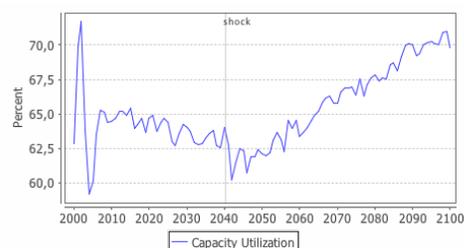
(c) Inflation et chômage



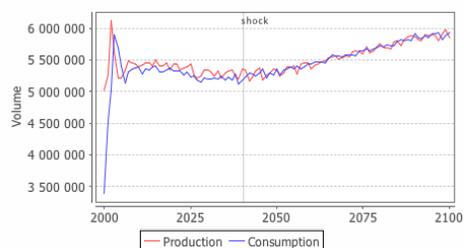
(d) Courbe de Phillips



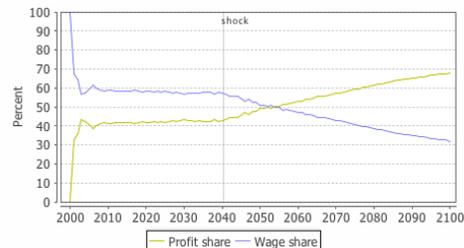
(e) Niveau des stocks



(f) Utilisation des capacités

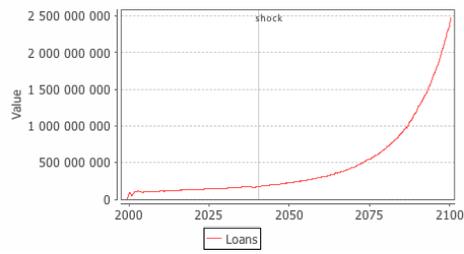


(g) Marché des biens (volume)

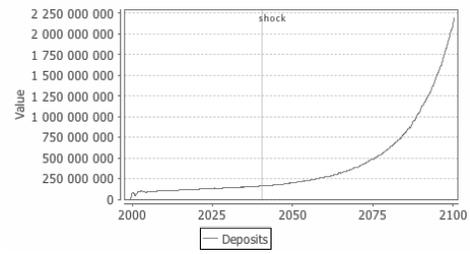


(h) Répartition des revenus

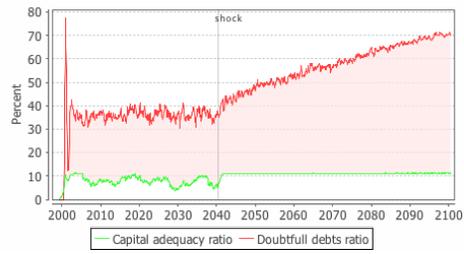
FIGURE 9.5 – Dysfonctionnement bancaire – Principaux indicateurs macroéconomiques



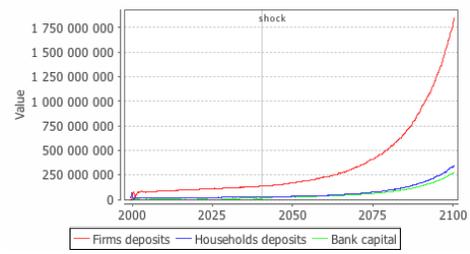
(i) Crédits



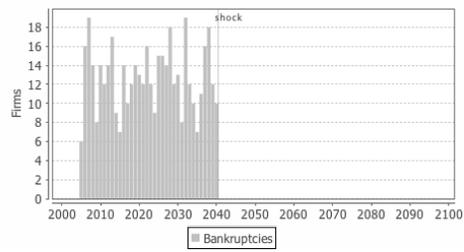
(j) Dépôts



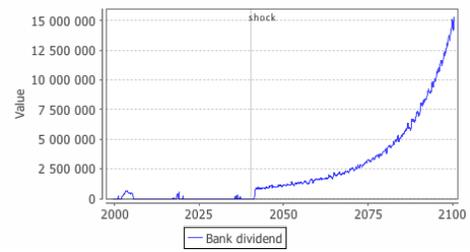
(k) Fonds propres et créances douteuses



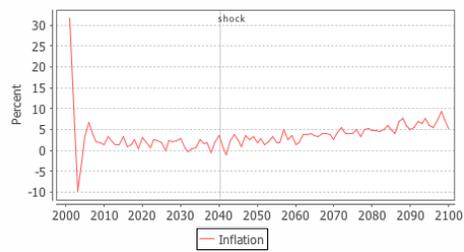
(l) Passif de la banque



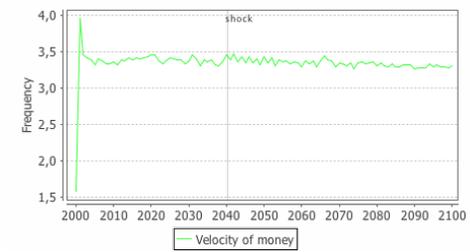
(m) Faillites



(n) Dividendes bancaires

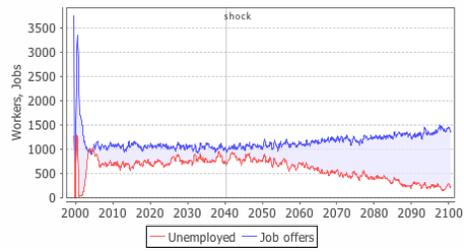


(o) Inflation

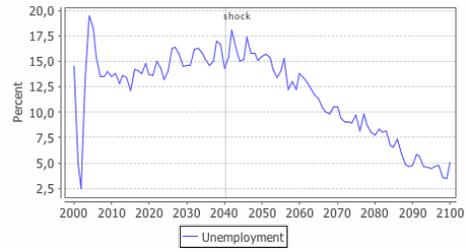


(p) Vitesse de la monnaie

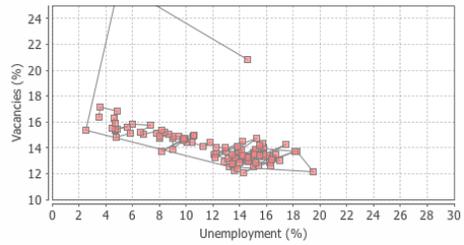
FIGURE 9.5 – Dysfonctionnement bancaire – Indicateurs bancaires et monétaires



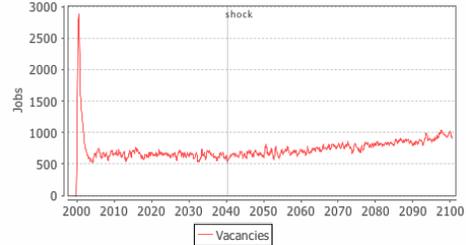
(q) Marché du travail



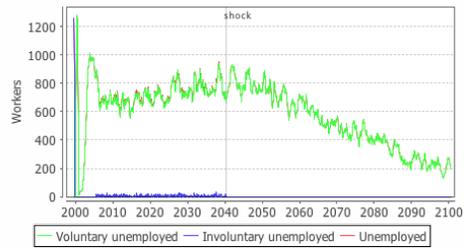
(r) Chômage



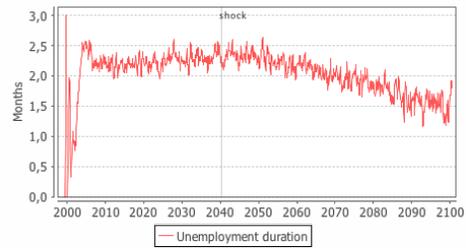
(s) Courbe de Beveridge



(t) Emplois vacants



(u) Types de chômage



(v) Durée moyenne du chômage



(w) Salaire réel

FIGURE 9.5 – Dysfonctionnement bancaire – Indicateurs du marché du travail