



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
DE BRUXELLES

ULB

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

Étude des effets de mimétisme, de monopole et d'asymétrie d'information

sur le trade-off "Égalité/Efficience" inhérent à l'économie de marché

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur Civil en Informatique à finalité Intelligence computationnelle

William Chelman

Directeur

Professeur Hugues Bersini

Co-Promoteur

Professeur Nicolas van Zeebroeck

Service
Iridia

Année académique
2014 - 2015

Étude des effets de mimétisme, de monopole et d'asymétrie d'information sur le trade-off “Égalité/Efficience” inhérent à l'économie de marché

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur Civil Informaticien à finalité Intelligence
computationnelle 2014-2015

William Chelman

Résumé liminaire

Les objectifs de ce travail étaient multiples : proposer un module statistique au logiciel préexistant et implémenter et étudier les mécanismes de mimétisme comportemental, de monopole et d'asymétrie d'information. Le module, couplé au logiciel *Tableau*, a permis une étude statistique des effets des différents mécanismes implémentés. De plus, des explications détaillées des effets des différents mécanismes sont données. L'étude du mimétisme a montré une grande perte d'efficacité et un très léger gain d'égalité d'un point de vue utilitariste, en plus de diminuer la stabilité du marché. L'implémentation des monopoles a confirmé les intuitions que nous pourrions avoir sur eux : autant l'efficacité que l'égalité se dégrade avec leurs présences. La dernière mécanique, l'asymétrie d'information, a présenté un résultat des plus étonnants : les agents profitant de l'asymétrie ne sont pas ceux qui ont le plus d'information mais ceux qui en ont le moins besoin. Finalement, en étudiant les différents mécanismes, plusieurs points du modèle ont amené des situations étonnantes et des suggestions de modification ont été présentées afin d'arriver à des situations plus attendues ou à un système plus efficace.

Mots-clés : *Trade-off* égalité/efficacité, monopole, asymétrie d'information, mimétisme comportemental, *Agent-based Computational Economics (ACE)*, marché libre

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Hugues Bersini pour son aide précieuse dans la réalisation de ce travail. Je souhaite aussi remercier Vincent, Corentin et Jorge pour ces dernières années mémorables remplies de fous rires et de nuits blanches travailleuses. Je remercie aussi mes parents Danijela, Olivier et Carine qui m'ont toujours soutenu. Finalement, je remercie ma petite-amie Sarah dont le soutien au quotidien m'a permis de voir la fin de ce travail avec le sourire et Loïc pour son amitié infaillible depuis maintenant de nombreuses années.

Table des matières

Table des figures	5
1 Contexte	8
1.1 Notions	8
1.1.1 Agent-based model & ACE	8
1.1.2 Efficience	8
1.1.3 Égalité	9
2 Modèle de base	10
2.1 Description du modèle	10
2.1.1 <i>Agent</i>	10
2.1.2 <i>Producer</i>	11
2.1.3 <i>Seller</i>	13
2.1.4 <i>Consumer</i>	14
2.1.5 <i>Buyer</i>	14
2.1.6 <i>Market</i>	16
2.1.7 <i>World</i>	18
2.2 Métriques clés	18
2.2.1 Utilité	18
2.2.2 Argent	18
2.2.3 Valeur ajoutée	19
2.2.4 Défaillance du marché	19
3 Module statistique	20
3.1 Choix technologiques	20
3.2 Fonctionnalités	21
3.3 Validation et <i>Use Case</i>	24
3.4 Base de donnée MySQL - Diagramme relationnel	26
4 Mimétisme comportemental	27
4.1 Concept	27

4.2	Modèle	27
4.3	Paramètres par défaut	28
4.4	Évolution des goûts et utilité marginale décroissante	28
4.5	Budget non-contraint	32
4.5.1	Utilité	32
4.5.2	Argent	34
4.5.3	Valeur ajoutée	34
4.5.4	Défaillance du marché	34
4.6	Budget contraint	39
4.6.1	Argent	39
4.6.2	Défaillance du marché	39
4.7	Conclusions et travaux futurs	41
5	Monopole	42
5.1	Concept	42
5.2	Modèle	42
5.3	Budget non-contraint	43
5.3.1	Utilité	43
5.3.2	Argent	44
5.3.3	Valeur ajoutée	45
5.3.4	Défaillance de marché	45
5.3.5	Production	46
5.4	Budget restreint	50
5.5	Utilité marginale décroissante	55
5.5.1	Défaillance de marché	56
5.5.2	Utilité	56
5.5.3	Argent	57
5.5.4	Valeur ajoutée	57
5.6	Conclusions et travaux futurs	63
6	Asymétrie d'information	64
6.1	Définition	64
6.2	Modèle	64
6.3	Budget non restreint	66
6.3.1	Utilité	67
6.3.2	Argent	67
6.3.3	Valeur ajoutée	68
6.4	Budget restreint	71
6.5	Conclusion et travaux futurs	71

7	Conclusions	73
8	Bibliographie	75
A	Marché concurrentiel - répartition utilité/argent	76
B	Mimétisme comportemental - figures additionnelles pour budget restreint	78
C	Asymétrie d'information - figure additionnelle	81

Table des figures

2.1	Modèle de base - Diagramme UML	11
3.1	Interface module statistique	21
3.2	Paramètres pour la validation	24
3.3	Validation	25
3.4	Schéma relationnel de la base de donnée	26
4.1	Paramètres par défaut	28
4.2	Évolution des goûts au fil des étapes avec DMU = <i>false</i>	30
4.3	Évolution des goûts au fil des étapes avec DMU = <i>true</i>	31
4.4	Utilité en fonction de l'influçabilité	35
4.5	Argent en fonction de l'influçabilité	36
4.6	Valeur ajoutée en fonction de l'influçabilité	36
4.7	Défaillance de marché en fonction de l'influçabilité	37
4.8	Évolution de Gini utilité au cours du temps - INFL = 10%	37
4.9	Utilité des agents en fonction de leur valeur ajoutée - INFL = 100%	38
4.10	Utilité, argent, valeur ajoutée et volume d'achat des 50 agents d'une simulation - INFL = 100%	38
4.11	Argent en fonction de l'influçabilité	40
4.12	<i>Market failure</i> en fonction de l'influçabilité	40
5.1	Paramètres de simulation	46
5.2	Valeurs globales et coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction du nombre de brevet	47
5.3	Nombre de défaillance du marché et nombre d'étapes en fonction du nombre de brevet	48
5.4	Agents : Utilité, valeur ajoutée, argent, produits en stock, produits vendus et produits achetés, dépendant du nombre de brevet et séparés entre agents ayant un brevet et ceux n'en ayant pas	49
5.5	Produits : volume moyen de vente et prix moyens selon qu'ils soient brevetés ou non	50

5.6	Paramètres de simulation	51
5.7	Valeurs globales et coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction du nombre de brevet	52
5.8	Nombre de défaillance du marché et nombre d'étapes en fonction du nombre de brevet	53
5.9	Agents : Utilité, valeur ajoutée, argent, produits en stock, produits vendus et produits achetés, dépendant du nombre de brevet et séparés entre agents ayant un brevet et ceux n'en ayant pas . . .	54
5.10	Produits : volume moyen de vente et prix moyens selon qu'ils soient brevetés ou non	55
5.11	Paramètres de simulation	58
5.12	Valeurs globales et coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction du nombre de brevet	59
5.13	Nombre de défaillance du marché et nombre d'étapes en fonction du nombre de brevet	60
5.14	Agents : Utilité, valeur ajoutée, argent, produits en stock, produits vendus et produits achetés, dépendant du nombre de brevet et séparés entre agents ayant un brevet et ceux n'en ayant pas . . .	61
5.15	Produits : volume moyen de vente et prix moyens selon qu'ils soient brevetés ou non	62
6.1	Paramètres des simulations	66
6.2	Évolution des valeurs globales et des coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction de la qualité des produits <i>low cost</i> et du nombre d'agents <i>low cost</i>	69
6.3	Évolution des valeurs de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée des agents, selon qu'ils soient <i>low cost</i> ou pas, en fonction de la qualité des produits <i>low cost</i> et du nombre d'agents <i>low cost</i>	70
6.4	Évolution des défaillances de marché	71
A.1	Utilité des agents en fonction de leur goût maximal - $r = 0,82$ et $p - value < 0,0001$	77
A.2	Utilité des agents en fonction de leur argent - $r = -0,95$ et $p - value < 0,0001$	77
B.1	Valeur ajoutée en fonction de l'influçabilité	79
B.2	Utilité en fonction de l'influçabilité	80
C.1	Écarts-types relatifs des principales métriques	82

Introduction

Dans un contexte comme le nôtre suivant la crise de 2008, de nombreuses voix se font entendre quant à la manière dont le marché est régulé et dont les richesses sont réparties. Ainsi, travailler sur un modèle permettant de mettre en évidence les conséquences de certains mécanismes sur le marché, les agents le composant et surtout le *trade-off* égalité/efficience a tout son sens.

Le travail accompli lors de cette thèse se base sur plusieurs travaux successifs. Premièrement, ce sont Bersini H. et van Zeebroeck N.[3] qui ont initié le projet en 2011. Celui-ci a été repris par Jehotte R.[6] qui en a amélioré le modèle orienté-objet, et qui a permis la comparaison de deux types de marché, un compétitif et un redistributif. Enfin, Bernier N.[2] a repris en 2014 le projet, lui fournissant la possibilité de mélanger les deux types de marché en un marché mixte et surtout, lui fournissant une interface graphique. Ainsi, les études sur le *trade-off* égalité/efficience suivent les travaux précédents et se basent principalement sur la vision utilitariste, bien que l'étude d'autres métriques propres au modèle (argent, valeur ajoutée, défaillance de marché) n'est pas laissée en reste.

Dans ce cadre, les objectifs de cette thèse étaient multiples. Dans un premier temps, un module a été implémenté afin de faciliter les études statistiques sur le modèle. Une fois celui-ci mis en place, les mécanismes de mimétisme comportemental, de monopole et d'asymétrie d'information ont été implémentés et étudiés.

L'utilisation du module, couplé au logiciel *Tableau*, a permis une étude rigoureuse des effets des différents mécanismes implémentés en permettant de visualiser aisément moyennes et écarts-types des différentes métriques. Ces études se veulent être approfondies et présentent, en plus des effets des mécanismes en eux-mêmes, des explications détaillées permettant de comprendre la logique derrière l'apparition de résultats parfois contre-intuitifs. Le travail accompli ici a donc permis de voir les effets des différents mécanismes sur le *trade-off* égalité/efficience. De plus, certaines modifications du modèle ont été suggérées au vu de l'analyse des résultats obtenus.

Chapitre 1

Contexte

Dans ce chapitre seront définis brièvement plusieurs notions nécessaires à la compréhension du modèle et du travail accompli. Il est à noter que ce chapitre se veut être un résumé du chapitre 1 de la thèse de Bernier N.[2] étant lui-même plus exhaustif que ce qui est présenté ici.

1.1 Notions

1.1.1 Agent-based model & ACE

Les *Agent-based models* sont utilisés afin de simuler les actions et les interactions d'agents autonomes afin d'en voir les effets sur le système dans sa globalité. Plus particulièrement, ce projet appartient à une sous-classe de ce type de modèle appelé *Agent-based Computational Economics (ACE)*.

Plusieurs règles sont établies dans ce modèle, définissant ainsi le comportement des agents. De plus, des métriques sont associées à chacun de ces agents afin de pouvoir collecter des données et en tirer des conclusions. Dans le cadre de ce travail, les métriques récoltées ont pour but de mesurer l'efficacité et l'égalité des systèmes étudiés.

1.1.2 Efficacité

Plusieurs théories visant à définir l'efficacité d'un marché ont été proposées au fil du temps et c'est la notion d'utilitarisme, introduite par Bentham J.[1], qui a été retenue pour ce projet. Ainsi l'utilité d'un agent est définie comme étant le bonheur ou le bien-être de celui-ci, généré par la consommation de produits. Dès lors, un système est considéré comme efficace (du point de vue utilitariste) s'il maximise l'utilité des agents dans leur globalité.

On voit alors poindre le “problème” de la notion d’efficience économique : aucune attention n’est portée à la manière dont l’utilité est distribuée, à quel point celle-ci peut être répartie de manière disparate.

1.1.3 Égalité

En apparente opposition à l’efficience, l’égalité se veut être la mesure de la répartition de l’utilité parmi les agents. Pour la mesurer, un coefficient de Gini est calculé sur le système. Ce coefficient est une mesure statistique de la dispersion d’une métrique (dans notre cas, l’utilité) et varie de 0 (égalité totale) à 1 (inégalité totale). En plus du coefficient de Gini, nous pouvons calculer les courbes de Lorentz qui permettent d’avoir une vue plus détaillée de la répartition car plusieurs courbes peuvent donner le même coefficient de Gini.

Il est à noter que dans ce travail, l’efficience et l’égalité ne seront pas étudiées uniquement d’un point de vue utilitariste. En effet, d’autres métriques, comme l’argent, seront sujets de la même étude (les différentes métriques sont présentées au chapitre suivant).

Chapitre 2

Modèle de base

Ce chapitre est dédié à l'explication du fonctionnement du modèle tel que reçu au début de la thèse. Premièrement, un diagramme UML est présenté afin d'en donner une vision globale (figure 2.1). Ensuite, une explication plus détaillée du fonctionnement des différentes classes est présentée. Il est à noter que ce chapitre se veut être principalement un résumé du chapitre 2 de la thèse de Bernier N.[2], accompagné de réflexions sur certains points du modèle.

2.1 Description du modèle

2.1.1 *Agent*

Composants principaux du modèle, les agents agissent et interagissent de diverses manières grâce à leurs différents éléments (*Producer*, *Consumer*, *Buyers* et *Sellers*). Un agent est caractérisé, à sa création, par plusieurs paramètres qui sont communs à tous les agents :

- Son argent initial $\mathbf{m_s}$: L'argent que l'agent reçoit au début de la simulation (par défaut 500).
- Son utilité initiale $\mathbf{u_s}$: L'utilité que l'agent reçoit au début de la simulation (par défaut 0).
- Part de production aléatoire \mathbf{RP} : Détermine quelle part de la production est faite de manière aléatoire (par défaut 0).
- Nombre de produits \mathbf{k} : Le nombre de types de produits qu'il est possible de produire (par défaut 10).
- Nombre de produits pour spécialisation \mathbf{SP} : Le nombre de produits d'un certain type qu'il faut produire pour se spécialiser dans la production de ce type de produit.

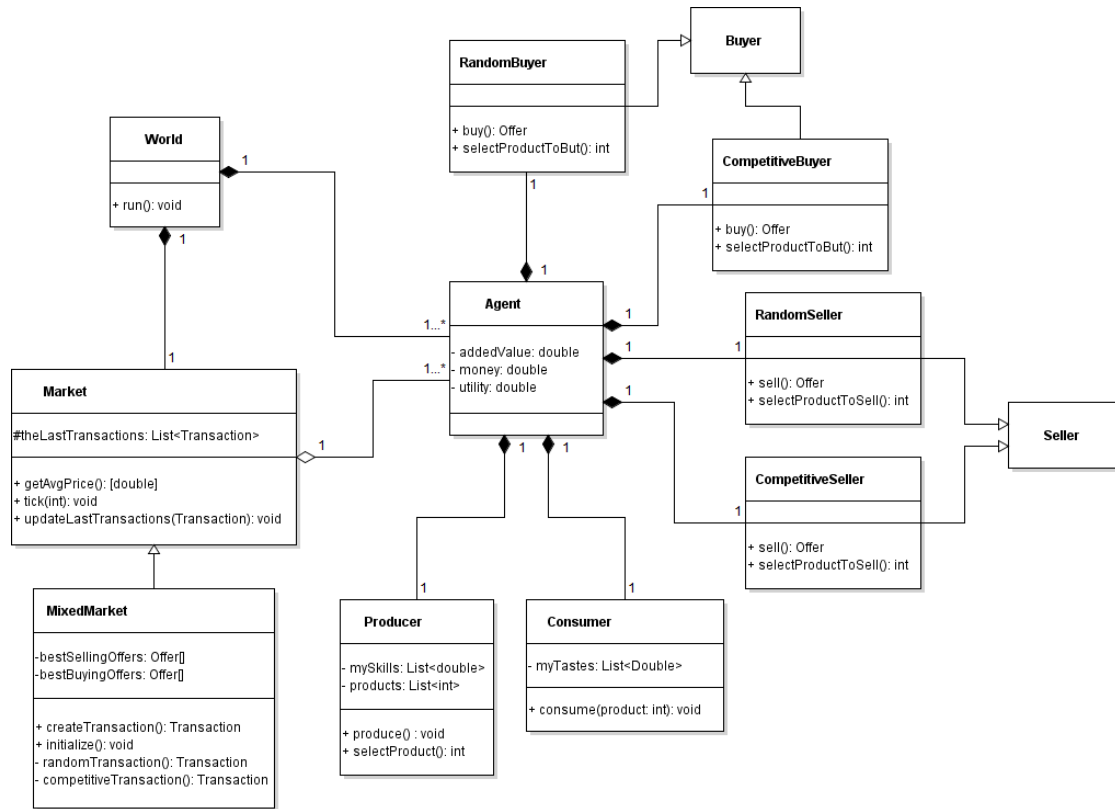


FIGURE 2.1: Modèle de base - Diagramme UML

2.1.2 *Producer*

Le rôle du producteur est, comme son nom l'indique, de produire des produits. Le coût de production de chaque produit est déterminé par le talent associé. Ces talents sont générés aléatoirement au début de la simulation pour chaque produit et normalisés afin que leur somme vaille 1. Cette normalisation a pour but que tous les agents commencent avec la même quantité de talent. Ainsi, plus le talent pour un produit donné est bas, moins les coûts de production sont élevés.

2.1.2.a Sélection du produit

Le choix du produit à produire peut se passer de deux manières distinctes, dépendant du paramètre **RP**. La première, et la plus simple, est un choix aléatoire. La deuxième méthode est plus intelligente et se base sur l'information véhiculée par les prix des ventes passées.

Pour chaque type de produit p , son prix moyen A_p sur les \mathbf{LT}^1 dernières transactions est calculé. Dès lors, le profit potentiel pour chaque produit est calculé comme étant $EP_1 = A_p - c_p$ où c_p est le coût de production associé au type de produit (et donc le talent associé). Si le produit n'a jamais été vendu, son profit estimé est alors de $EP_2 = 1 - c_p$. Alors, le type de produit sélectionné est celui ayant le meilleur profit estimé. En effet nous savons que $EP_2 \geq EP_1 \Leftrightarrow A_p \leq 1^2$, donc EP_2 permet de favoriser la production de produits qui n'ont pas encore été vendus.

2.1.2.b Production

Si le coût de production du produit n'excède pas les moyens de l'agent, celui-ci est produit, dans le cas contraire il repasse par l'étape de sélection du produit (ce jusqu'à mille fois, paramètre fixe des simulations). S'il a produit \mathbf{SP} produits de ce type, le producteur se spécialise et son talent associé à ce type de produit est réévalué comme suit :

$$\text{skills}_p^{t+1} \in [\alpha * \text{skills}_p^t, \text{skills}_p^t] \text{ où } \alpha \in [0, 1] \quad (2.1)$$

Dans la simulation, α est fixé à 0,9. Une fois ce changement effectué, les talents sont à nouveau normalisés.

Commentaires

Deux points méritent réflexion quant aux mécanismes de production. Premièrement, si on prend une situation où $\mathbf{RP} = 0$ (pas de production aléatoire), le producteur ne fait alors que le choix "intelligent". Si on se retrouve dans une situation où l'agent est limité en argent, il se peut qu'il se trouve dans l'incapacité de produire le produit qui lui serait le plus profitable. Ainsi le problème est double :

- Le producteur ne conçoit pas la possibilité de produire un autre produit qui lui serait moins profitable mais dont les coûts de production seraient moindres. Il ne produirait alors rien alors qu'il en aurait la possibilité (cas assez rare car il est le plus probable que le produit qui lui soit le plus favorable soit le produit avec le coût associé le plus faible).
- En termes de performance, on demande jusqu'à mille fois au producteur de produire un produit de son choix. Ainsi, la phase de choix du produit se répète mille fois avec les différents calculs associés, ce qui peu ralentir la simulation. Le modèle a été modifié en conséquence afin qu'en cas d'absence d'aléatoire dans la production, un seul essai soit offert au producteur.

1. voir section 2.1.6.a

2. Cette dernière inégalité est démontrée dans l'annexe 1 de Bernier N.[2]

Deuxièmement, il est intéressant de noter que l'argent utilisé pour la production disparaît du modèle. Si cela ne pose pas de problème pour des simulations commençant avec une somme d'argent confortable par agent, le cas de budgets initiaux restreints peut devenir problématique. En effet, en prenant en compte le fait que les simulations, à fin de comparaison, sont toutes exécutées pendant 50.000 étapes, la somme totale de liquidité disponible dans le système peut diminuer drastiquement. Pour l'exemple, en prenant une simulation composée de 50 agents ayant chacun 20 d'argent initial, donc avec un total de 1.000 d'argent, on arrive au bout des 50.000 étapes à un total de 168,12 d'argent, soit en moyenne 3,28 d'argent par agent. Cet aspect du modèle accentue donc l'instabilité des simulations à budgets restreints.

2.1.3 *Seller*

Le vendeur se caractérise par deux actions : le choix du produit à vendre et la création de l'offre de vente associée. Ces actions dépendent du type du vendeur.

2.1.3.a *Random Seller*

Choix du produit Le type de produit est choisi aléatoirement. Si le producteur de l'agent possède le produit en stock, le produit est sélectionné.

Proposition de vente Un fois le produit choisi, une offre peut être créée, consistant en un produit (celui choisi), un prix et un agent (l'agent du vendeur). Le prix est fixé comme suit :

$$\text{price}_{SO,p}^R = \frac{\text{skills}_p}{m_c \cdot ti} \quad (2.2)$$

Où skills_p ou c_p est le coût de production du produit, m_c est l'argent que possède actuellement l'agent et $ti = \mathbf{m}_s^{-1}$ est l'index de temps³. Ainsi, si l'agent est plus pauvre qu'au départ ($m_c \cdot ti < 1$), il proposera un prix plus élevé (et inversement s'il est plus riche).

2.1.3.b *Competitive Seller*

Choix du produit Le choix est ici basé sur les meilleures propositions de vente pour chaque produit et se fait comme suit :

- Pour chaque type de produit p , il s'assure qu'il en a au moins un en stock
- Si c'est le cas, il vérifie que le coût de production associé est moins grand que le prix de l'actuelle meilleure offre de vente $\text{price}_{bestSO,p}^C$

3. pour rappel, \mathbf{m}_s est l'argent initial

Ainsi, parmi tous les produits vérifiant ces deux conditions, il choisit celui dont le coût de production est le plus faible de manière à maximiser ses profits.

Proposition de vente Comme pour le choix du produit, le choix du prix $price_{SO,p}^C$ dépend de l'actuelle meilleur offre de vente et ce prix est calculé comme suit :

$$price_{SO,p}^C = c_p + rand * (price_{bestSO,p}^C - c_p) \quad (2.3)$$

Où $rand \in [0, 1]$ est aléatoire.

L'offre ainsi créée remplace l'ancienne meilleure offre. Ce mécanisme assure donc une diminution graduelle des prix des offres de vente pour chaque produit, ce qui pose les bases, du côté vendeur, du mécanisme de double enchère (ce système d'enchère sera explicité en section 2.1.6.c).

2.1.4 *Consumer*

Le consommateur est la partie de l'agent qui, comme son nom l'indique, s'occupe de consommer les produits achetés pour générer de l'utilité. Les goûts du consommateur sont construits de la même manière que les talents du producteur : pour chaque type de produit, un goût est généré aléatoirement et la somme totale des goûts est normalisée pour chaque agent. Dès lors, le goût qu'a celui-ci pour un type de produit représente la quantité d'utilité générée à sa consommation.

2.1.4.a Utilité marginale décroissante

Le mécanisme d'utilité marginale décroissante peut être activé ou non selon la valeur du paramètre **DMU** (voir section 2.1.6.a). Si celui-ci est activé pour la simulation, la consommation d'un produit p entraîne un changement des goûts, similaire au mécanisme de spécialisation du producteur, et se déroule comme suit :

$$tastes_p^{t+1} \in [\beta * tastes_p^t, tastes_p^t] \quad (2.4)$$

Le paramètre $\beta \in [0, 1]$ étant fixé à 0,9 dans le modèle. Après ce changement, les goûts sont normalisés à nouveau, ce qui fait que les goûts pour les autres produits augmentent.

2.1.5 *Buyer*

L'acheteur se caractérise par deux actions : le choix du produit à acheter et la proposition d'offre d'achat. Celles-ci dépendent du type de l'acheteur.

2.1.5.a *Random Buyer*

Choix du produit L'acheteur aléatoire ne choisit pas son achat, une offre de vente parmi celles disponibles lui est proposée au hasard.

Proposition d'offre d'achat Avant de proposer une offre, l'acheteur calcule d'abord son prix de réserve associé au type de produit p comme suit :

$$reserve_p = tastes_p * m_c * ti \quad (2.5)$$

Où $tastes_p$ est le goût du consommateur de l'agent associé au type de produit p , m_c l'argent actuel et ti l'index de temps (voir section 2.1.3.a). Ce prix de réserve représente la quantité maximale d'argent que l'agent est prêt à dépenser pour ce type de produit. Si ce prix de réserve est supérieur ou égal au prix proposé par l'offre de vente $price_{SO,p}^R$, alors l'acheteur propose un prix d'achat comme suit :

$$price_{BO,p}^R = price_{SO,p}^R + rand * (reserve_p - price_{SO,p}^R) \quad (2.6)$$

Où $rand \in [0, 1]$ est un chiffre aléatoire. La transaction est alors effectuée au prix proposé par l'acheteur.

2.1.5.b *Competitive Buyer*

Choix du produit Pour chaque produit, l'acheteur calcule le prix de réserve associé (voir équation 2.5). Parmi les produits pour lesquels le prix de réserve est supérieur au prix de l'actuelle meilleure offre d'achat, l'acheteur va choisir le produit pour lequel il a le goût le plus élevé (donc le produit générant le plus d'utilité à la consommation).

Proposition d'offre d'achat Tout comme pour le vendeur, l'acheteur propose un prix basé sur l'actuelle meilleure offre d'achat. Ce dernier est calculé comme suit :

$$price_{BO,p}^C = price_{bestBO,p}^C + rand * (reserve_p - price_{bestBO,p}^C) \quad (2.7)$$

Où $rand \in [0, 1]$ est généré aléatoirement. L'offre ainsi créée remplace l'actuelle meilleure offre d'achat. Ce mécanisme permet donc une augmentation graduelle des prix des offres d'achat et est donc la seconde partie du mécanisme de double enchère discuté en section 2.1.6.c.

Commentaires

L'acheteur compétitif ne fait donc de proposition d'achat que sur un type de produit à la fois. Si cela n'est pas un problème en soi, on remarquera au chapitre 4 que cela peut engendrer des situations inattendues.

2.1.6 *Market*

2.1.6.a *Mixed Market*

Le marché mixte est l'élément central du modèle. Il peut se comporter de manière compétitive ou aléatoire et est caractérisé par plusieurs paramètres à sa création :

- Le nombre d'agent **n** : cet attribut est caractéristique du monde (voir section 2.1.7) et est fixé, c.-à-d. que le nombre d'agents de la simulation ne varie pas au cours du temps (par défaut 50).
- Le nombre de dernières transactions à considérer **LT** : Le nombre de transaction que le producteur (section 2.1.2) doit prendre en compte dans son choix du produit à produire (par défaut 1000).
- La quantité de production initiale **IP** : le nombre de productions (gratuites) que chaque agent fait avant le début de la simulation (par défaut 10).
- Le profit maximal **MB** : La quantité maximale de bénéfices qui peuvent être réalisés sur une transaction compétitive, utilisée pour initialiser les meilleures offres de ventes (par défaut 5).
- La part d'aléatoire du marché **MR** : Représente le pourcentage de chance que le marché se comporte de manière aléatoire à chaque étape (0 par défaut).
- La présence du mécanisme d'utilité marginale décroissante **DMU** : paramètre booléen spécifiant si ledit mécanisme est activé ou pas (par défaut "faux")

À sa création, le marché lance une phase de production initiale où tous les agents produisent chacun **IP** produits de leur choix.

Le marché évolue en un temps discret appelé *ticks*, *steps* ou étapes. À chaque étape, un agent est choisi au hasard afin qu'il produise une unité d'un produit. S'il n'y arrive pas, un autre agent est choisi et le processus est répété jusqu'à ce qu'un agent réussisse une production ou que mille essais de production aient été accomplis, c.-à-d. que l'on a demandé mille fois à un agent choisi au hasard de produire.

Ensuite intervient la création d'une transaction consistant en une offre de vente et une offre d'achat générées de manière compétitive (section 2.1.6.c) ou aléatoire (section 2.1.6.b), selon **MR**, et ayant pour restriction que les deux offres ne peuvent pas venir du même agent. Immédiatement après la vente, l'acheteur consomme le produit (section 2.1.4). Il est à noter que la création d'une transaction n'est pas toujours possible en fonction des situations actuelles des agents, ce cas de figure est alors appelé une défaillance du marché. Si le nombre de défaillances du marché

atteint 1000, le système considère alors que le marché n'est plus en condition d'évoluer et la simulation s'arrête.

2.1.6.b Transaction aléatoire

Un agent est choisi au hasard et son vendeur aléatoire crée une offre de vente de la manière détaillée en section 2.1.3.a. Un autre agent est alors choisi pour créer une offre d'achat basée sur l'offre de vente précédemment créée (voir section 2.1.5.a). Les deux offres ainsi créées constituent la transaction. Il est à noter que la création d'une transaction n'est pas toujours possible, ainsi les phases de création d'offres peuvent être répétées jusqu'à mille fois avant que le système ne déclare une défaillance du marché.

2.1.6.c Transaction compétitive

Contrairement au cas aléatoire, la transaction est ici créée sur base des les meilleures offres d'achat et de vente pour chaque produit. Premièrement, un agent est choisi au hasard pour proposer une offre de vente compétitive (section 2.1.3.b) sur un produit de son choix. Ensuite, l'actuelle meilleure offre d'achat, correspondant au même produit est considérée pour la création de la transaction. Celle-ci est effective si deux conditions sont respectées :

- L'agent ayant proposé l'offre de vente est différent de celui responsable pour l'offre d'achat
- Le prix proposé par l'acheteur est supérieur ou égal au prix proposé par le vendeur.

Une fois ces conditions vérifiées, la transaction est créée et exécutée.

Toutefois, il est possible que l'agent sélectionné pour la vente n'ait pas fait d'offre de vente, c.-à-d. que l'agent n'a pas de produit en stock dont le coût de production est inférieur à l'actuelle meilleure offre de vente. Dans cette situation, un agent est sélectionné aléatoirement afin de proposer une offre d'achat compétitive (voir section 2.1.5.b) sur un produit de son choix. Finalement, c'est l'actuelle meilleure offre de vente pour ce produit qui est utilisée comme offre de vente et les deux offres mentionnées composent alors la transaction, les mêmes conditions qu'évoquées au paragraphe précédent s'appliquant.

Comme dans le cas aléatoire, il est possible qu'une transaction ne soit pas tout de suite créée. Dans ce cas, on répète les précédentes étapes jusqu'à ce qu'une transaction soit créée ou que mille essais aient été accomplis et donnent dès lors lieu à une défaillance du marché. Cette répétition sous-tend le mécanisme d'enchère double où, pour chaque type de produit p , d'une part le prix de la meilleure

offre d'achat $price_{bestBO,p}^C$ augmente graduellement et, d'autre part, le prix de la meilleure offre de vente $price_{bestSO,p}^C$ diminue et ce jusqu'à ce que $price_{bestSO,p}^C \leq price_{bestBO,p}^C$. Une fois cette condition respectée, la transaction peut être créée.

Au début de chaque transaction compétitive, les meilleures offres d'achat sont initialisées à 0 et les meilleures offres de vente à **MB**.

2.1.7 *World*

Le monde est le composant global contenant tous les autres au sein duquel ceux-ci interagissent. Il contient un marché mixte et un nombre fixe d'agents. Ces agents sont initialisés dans le monde vu que c'est lui qui s'occupe de la gestion de tous les paramètres de la simulation qui ont été évoqués dans ce chapitre.

2.2 Métriques clés

Cette section a pour but de détailler la signification des différentes métriques caractérisant la situation des agents à n'importe quel moment. En effet, ces métriques permettent de mettre en évidence la situation globale du système et ainsi estimer l'efficacité et l'égalité de celui-ci au regard des valeurs des paramètres le caractérisant.

2.2.1 Utilité

L'utilité est utilisée pour représenter le bien-être des agents et est générée par la consommation de produits. La somme totale de l'utilité de tous les agents caractérise l'efficacité du marché d'un point de vue utilitariste⁴, tandis que le coefficient de Gini mesure l'égalité du système.

2.2.2 Argent

L'argent est utilisé pour accomplir des transactions mais est aussi dissipé dans le processus de production. Ainsi, la somme totale d'argent de tous les agents donne une information sur l'efficacité du marché d'un point de vue de la dissipation de l'argent. D'autre part, le coefficient de Gini calculé sur l'argent donne une information sur l'égalité du marché d'un point de vue pécuniaire.

4. comme vu en section 1.1.2

2.2.3 Valeur ajoutée

La valeur ajoutée d'un agent représente la somme des profits qu'il a pu faire sur ses ventes (donc la différence entre le prix de vente et le coût de production). La somme totale sur tous les agents indique à quel point le marché est efficient d'un point de vue de la production. Son coefficient de Gini représente l'égalité d'un point de vue valeur ajoutée.

2.2.4 Défaillance du marché

Malgré les nombreux essais qu'il peut y avoir dans la création d'une transaction, il se peut qu'aucun de ces essais n'aboutisse, on parle alors de défaillance du marché non-systématique. Si le nombre de défaillances du marché atteint 1000, on considère que le marché est en situation de défaillance systématique, c-à-d. que le marché est considéré comme inapte à évoluer et la simulation prend alors fin. Ainsi, le nombre de défaillances du marché représente bien l'efficacité et la stabilité d'un marché.

Chapitre 3

Module statistique

Ce chapitre est dédié à la création du module statistique de l'interface. En effet, vu la nature stochastique de bon nombres de mécanismes du modèle, il était nécessaire d'offrir la possibilité d'exécuter de nombreuses itérations sur des sets de paramètres voulus et d'en sortir des valeurs pertinentes (moyenne, écart-type, ...).

3.1 Choix technologiques

Stockage En ce qui concerne le stockage des données caractérisant les simulations, trois options ont été évaluées : création de fichiers en local, MongoDB ou MySQL. C'est la dernière qui a été retenue car MongoDB n'est pas compatible avec *Tableau* (voir paragraphe suivant) et la gestion de fichier est assez contraignante comparée à l'utilisation d'une base de données. Il est à noter que le *design pattern* dit du *Factory Pattern* a été utilisé afin de faciliter l'implémentation de nouvelles solutions de stockage.

Agrégation des données Ici, deux solutions étaient possibles : développer un module d'agrégation des données au sein du projet ou utiliser une solution existante. Après essai, c'est le logiciel *Tableau* qui a été retenu, et ce pour plusieurs raisons :

- **Gratuité** : il est possible d'obtenir une licence étudiant gratuitement.
- **Facilité d'utilisation** : la création de graphiques est simple et intuitive en *drag and drop* et permet d'obtenir rapidement des visualisations pertinentes des données (moyennes, écarts-type, ...)
- **Connexion aux données** : le logiciel se connecte à une source de données choisie, telle qu'un serveur MySQL mais aussi à beaucoup d'autres (fichiers locaux, Oracle, PostgreSQL, ...).

— **Gain de temps** : L'utilisation d'un logiciel existant permet un investissement en temps réduit comparativement au développement d'un module. Ainsi, tous les graphiques présentés dans ce document ont été réalisés à l'aide dudit logiciel.

3.2 Fonctionnalités

L'interface du module statistique est présentée à la figure 3.1. Ce module est accessible en passant par l'onglet "mode" en haut de la fenêtre et en sélectionnant "stat". L'essence de ce module est de proposer une solution simple pour effectuer un nombre d'itérations voulu sur un ou plusieurs sets de paramètres définis.

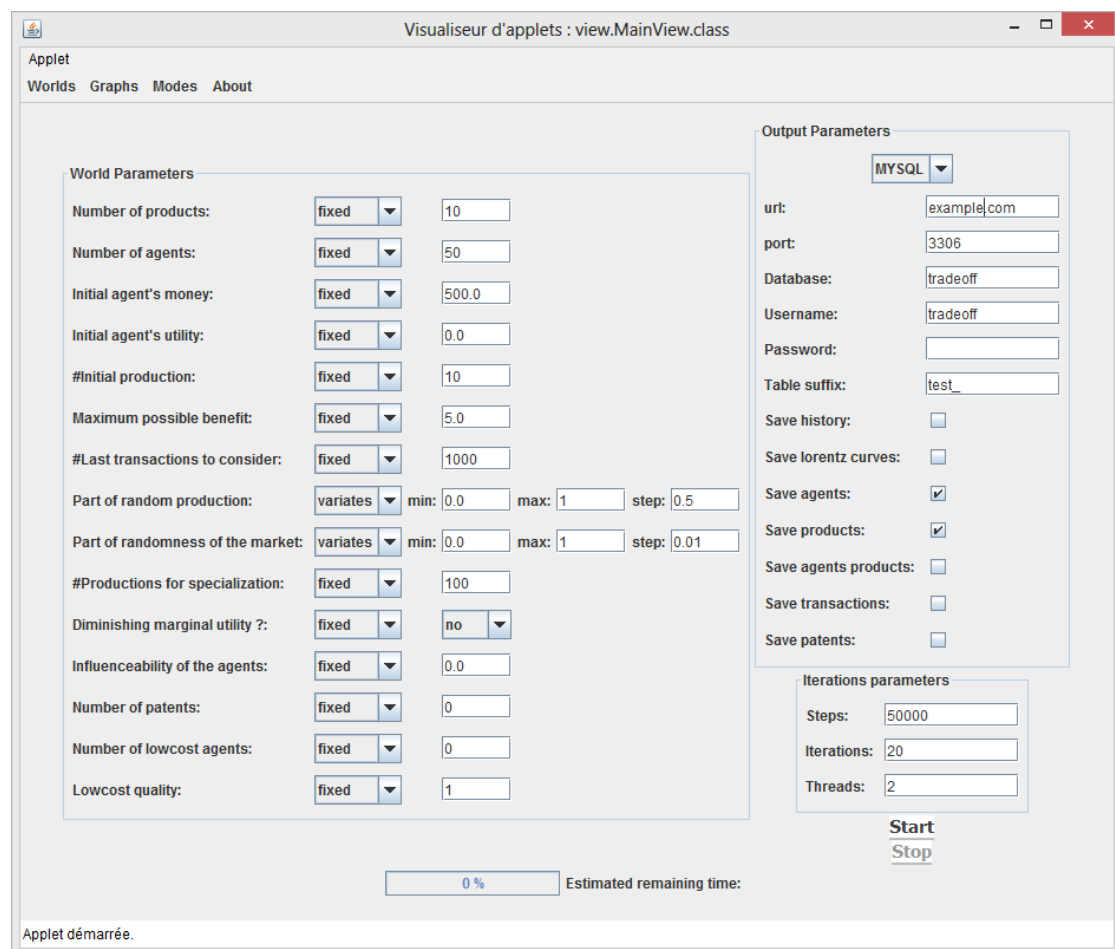


FIGURE 3.1: Interface module statistique

World Parameters On peut voir dans la partie gauche de la fenêtre les différents paramètres caractérisant le monde et ses composants. Ainsi, on voit que la plupart des paramètres sont fixés, sauf deux : la part de production aléatoire allant de 0 à 1 par étape de 0.5 et la part d'aléatoire du marché allant de 0 à 1 par étape de 0,1. Nous aurions ainsi $3 \times 11 = 33$ sets de paramètres à tester. Chacun de ces sets donnera naissance à **IN** (voir plus bas) simulations dont les données seront enregistrées sur le serveur MySQL à la fin de leur exécution.

Output Parameters En haut à droite de la fenêtre se trouvent les options disponibles pour l'enregistrement des simulations :

- **Combo Box** : La *combo box* permet de choisir le type de stockage de donnée voulu. En l'état, seul MySQL est disponible.
- **url** : L'adresse du serveur où seront stockées les sorties. Nous pouvons citer à titre d'exemple "localhost", "127.0.0.1" ou encore "exemple.com".
- **port** : Le port d'écoute du serveur MySQL (3306 par défaut).
- **Database** : Le nom de la base de données sur laquelle mettre les enregistrements.
- **Username** : Le nom d'utilisateur du compte ayant accès à la base de données.
- **Password** : Le mot de passe associé à l'utilisateur.
- **Table suffix** : Le suffixe ajouté aux noms des tables créées pour l'enregistrement des données

De base, seules les données pré-agrégées caractérisant un monde sont enregistrés. Ainsi, les différentes *check boxes* permettent de préciser que type d'information supplémentaires nous souhaiterions voir enregistrer :

- **Save history** : Sauvegarde l'évolution des différentes métriques au fil des étapes (ces historiques sont les graphiques présentés dans l'interface visuelle réalisée par Bernier N.)
- **Save Lorentz curves** : Sauvegarde les courbes de Lorentz associées aux différentes métriques.
- **Save agents** : Sauvegarde les données de tous les agents de la simulation. Ainsi, pour chacun d'eux est enregistré leur valeur ajoutée, leur frustration (le nombre de fois qu'un agent n'a pas pu faire d'offre d'achat à cause d'une contrainte budgétaire), leur argent, leur utilité, leur richesse (somme de l'argent, de l'utilité et potentiellement de la valeur des produits en stock), le nombre de produits achetés et le nombre de produits vendus.
- **Save products** : Sauvegarde les informations propres à chaque produit comme le prix moyen, la compétence moyenne, le goût moyen, la compétence minimale, le goût maximal, le volume de production, le volume de vente et si le produit est breveté (voir chapitre 5).

- **Save agents products** : Sauvegarde les liens existants entre chaque agent et chaque type de produit. Ainsi, pour chaque paire agent/produit sont enregistrés le nombre de produit vendus, le nombre de produit acheté ainsi que le goût et le talent associés à ce produit à la fin de la simulation.
- **Save transactions** : Sauvegarde toutes les transactions effectuées au cours de la simulation. Pour chaque transaction sont enregistrées les informations suivantes : l'étape à laquelle elle a été effectuée, l'identité de l'acheteur, l'identité du vendeur, le type de produit vendu et le prix de vente.
- **Save patents** : Sauvegarde les informations relatives aux brevets présents lors de la simulation (s'il y en a eu). Les brevets ont été mis en place en vue de l'étude des effets de monopole et sont explicités au chapitre 5. Pour chaque brevet sont enregistrés l'identité du possesseur et le type de produit concerné.

Iterations parameters En bas à droite sont précisés les paramètres caractérisant les itérations :

- **Steps** : Le nombre d'étapes par lesquelles un monde va passer avant de s'arrêter. À fin de comparaison avec le travail précédent (N. Bernier[2]), toutes les simulations faites dans ce travail ont été effectuées sur 50.000 étapes (ou moins, les simulations pouvant s'arrêter avant dans les situations de défaillance systématique du marché).
- **Iterations IN** : Le nombre de fois que chaque set de paramètres va donner lieu à une simulation.
- **Threads** : Le nombre de *threads* sur lesquels les simulations vont tourner. Si aucun paramètre n'est mis en mode "variation", un seul *thread* sera utilisé quel que soit le nombre précisé. En effet, chaque *thread* s'occupe de toutes les itérations sur un set de paramètres donné et donc, si aucun paramètre ne varie, il n'y a qu'un seul set de paramètres. Il est à noter qu'en plus du nombre de *thread* demandé, un *thread* supplémentaire est en action. Ce *thread* a pour rôle la gestion des autres *threads*.

Évolution et commandes des simulations En bas de la fenêtre sont précisés le pourcentage d'accomplissement des simulations ainsi que le temps estimé restant pour terminer toutes les simulations. Ces valeurs sont mises à jour à chaque fois qu'une simulation se termine. En bas à droite se trouvent les boutons de démarrage et d'arrêt des simulations. Contrairement au cas de visualisation disponible de base dans le projet, un bouton pause n'a ici pas été mis en place car jugé inutile.

3.3 Validation et *Use Case*

Afin de vérifier que les modifications amenées n'ont pas atteint le modèle de base lors du développement, plusieurs simulations ont été effectuées en prenant comme paramètres ceux présentés à la figure 3.2. On voit donc que la part d'aléatoire du marché varie de 0 à 1 par pas de 0,25 et que la diminution marginale d'utilité varie entre vrai et faux, chaque set de paramètre étant simulé cinquante fois et ce jusqu'à 50.000 étapes.

Les résultats agrégés de ces simulations sont visibles à la figure 3.3 où sont présentées les moyennes des différentes métriques clés accompagnés des écart-types relatifs. Les résultats sont assez proches de ceux obtenus par N. Bernier[2] et il est intéressant de noter que les écart-types relatifs sont bien plus grands pour les coefficients de Gini que pour les valeurs globales. On peut en déduire que les conditions initiales (répartition des goûts et des talents) et la "chance" ont un plus grand impact sur l'égalité que sur l'efficacité.

Number of products:	fixed ▼	10
Number of agents:	fixed ▼	50
Initial agent's money:	fixed ▼	500.0
Initial agent's utility:	fixed ▼	0.0
#Initial production:	fixed ▼	10
Maximum possible benefit:	fixed ▼	5.0
#Last transactions to consider:	fixed ▼	1000
Part of random production:	fixed ▼	0.0
Part of randomness of the market:	variates ▼	min: 0.0 max: 1 step: 0.25
#Productions for specialization:	fixed ▼	100
Diminishing marginal utility ?:	variates ▼	

FIGURE 3.2: Paramètres pour la validation

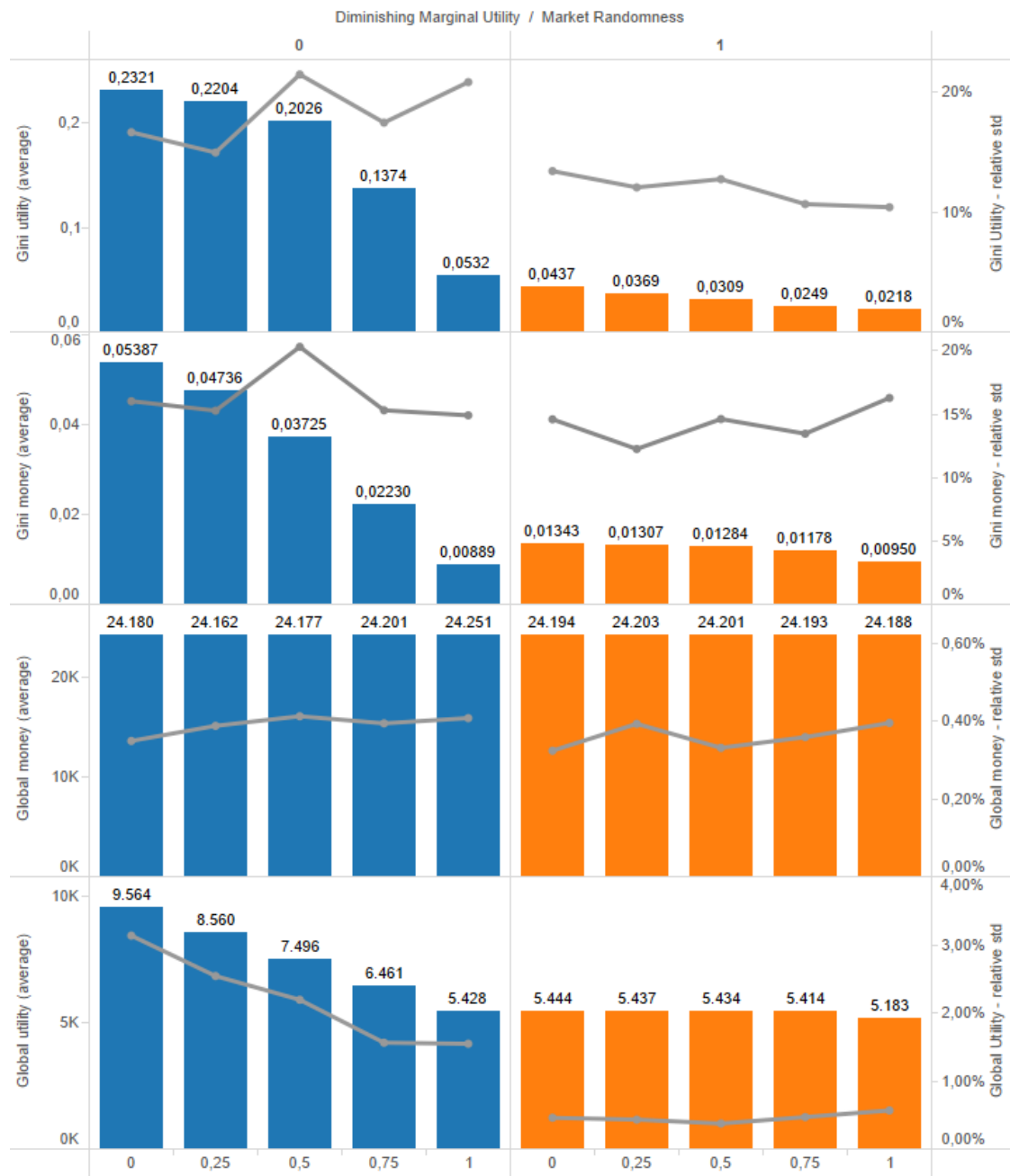


FIGURE 3.3: Validation

3.4 Base de donnée MySQL - Diagramme relationnel

Nous pouvons voir à la figure 3.4 le schéma relationnel de la base de données utilisée pour stocker les différentes données propres à chaque simulations.

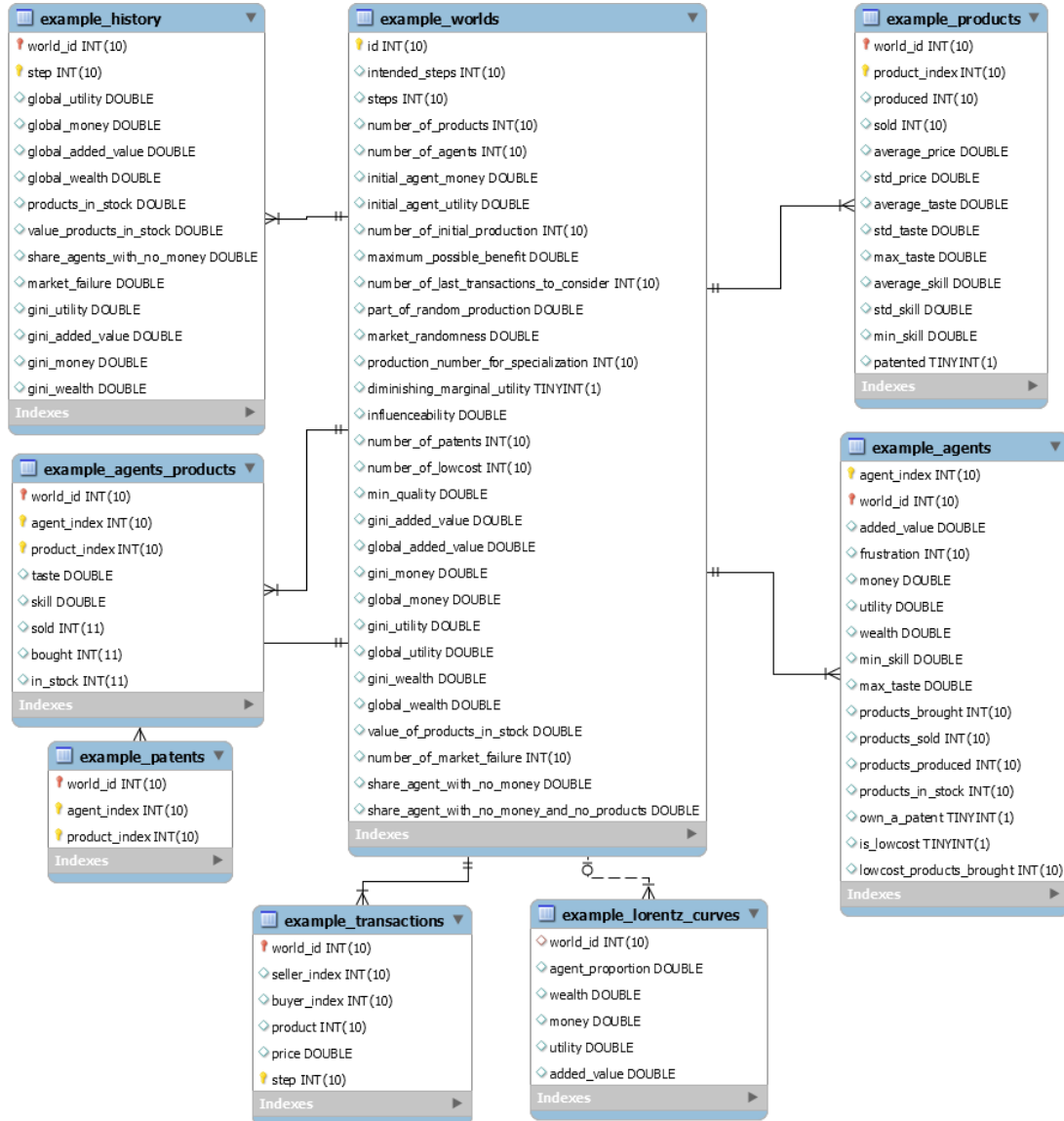


FIGURE 3.4: Schéma relationnel de la base de donnée

Chapitre 4

Mimétisme comportemental

4.1 Concept

Le mimétisme comportemental est un trait que l'on peut retrouver chez beaucoup d'animaux et bien sûr chez l'homme. Ce mimétisme se traduit par le fait que des individus imitent leurs congénères afin de mieux s'intégrer socialement. Depuis plusieurs années maintenant, ce mécanisme a pu révéler son importance dans nos sociétés [4] et il est donc sensé de vouloir en voir les effets sur un modèle économique.

4.2 Modèle

Chaque agent étant, entre autre, caractérisé par ses goûts, le mécanisme de mimétisme comportemental a été imaginé comme suit : au début de la simulation, un "espace des agents" est créé. Cet espace est un carré où chaque case représente un agent dont le voisinage peut donc être composé d'au maximum 8 autres agents. Soit n le nombre d'agents, la longueur des côtés du carré est calculé comme $\lceil \sqrt{n} \rceil^2$.

À chaque étape du monde, un agent a est sélectionné au hasard et, pour chaque type de produit p , le goût qui y est associé est réévalué comme suit :

$$taste_p^a = (1 - \mathbf{INFL}) \cdot taste_p^a + \mathbf{INFL} \cdot \frac{1}{|V(a)|} \sum_{b \in V(a)} taste_p^b \quad (4.1)$$

Où \mathbf{INFL} est l'influencabilité et $V(a)$ est le voisinage de l'agent a . Ainsi, les nouveaux goûts de l'agent sont simplement des moyennes pondérées entre les anciens goûts de l'agent et les moyennes des goûts des agents de son voisinage. \mathbf{INFL} est alors un nouveau paramètre du modèle et c'est sur la variabilité de celui-ci que vont être basées les études de ce chapitre.

Ainsi, le comportement (d'acheteur) d'un agent va évoluer en fonction de son entourage, ce qui représente bien le mimétisme comportemental et plus **INFL** sera grand, plus l'agent sera influencé par ses voisins.

4.3 Paramètres par défaut

À moins qu'il en soit dit autrement, toutes les simulations réalisées dans ce chapitre ont pour paramètres ceux exposés à la figure 4.1. De plus, les simulations ont été réalisées sur 50.000 étapes et ce au moins vingt fois afin d'obtenir des moyennes et autres métriques agrégées pertinentes.

Number of products:	fixed	▼	10
Number of agents:	fixed	▼	50
Initial agent's money:	fixed	▼	500.0
Initial agent's utility:	fixed	▼	0.0
#Initial production:	fixed	▼	10
Maximum possible benefit:	fixed	▼	5.0
#Last transactions to consider:	fixed	▼	1000
Part of random production:	fixed	▼	0.0
Part of randomness of the market:	fixed	▼	0.0
#Productions for specialization:	fixed	▼	100
Diminishing marginal utility ?:	fixed	▼	no ▼

FIGURE 4.1: Paramètres par défaut

4.4 Évolution des goûts et utilité marginale décroissante

Avec le mécanisme ainsi implémenté, on peut s'attendre à ce que les goûts finissent par s'uniformiser au fil du temps, c.-à-d. qu'au bout d'un temps suffisam-

ment grand, tous les agents auront à peu de choses près les mêmes goûts. Pour vérifier cela, les figures 4.2 et 4.3 ont été réalisées. Afin de représenter l'uniformisation des goûts, à chaque étape a été calculé, pour chaque produit, l'écart-type des goûts associé à ce produit et ce parmi tous les agents, puis une moyenne sur ces écarts-types a été calculée.

La figure 4.2 a été réalisée sans utilité marginale décroissante. Sans surprise, pour $\mathbf{INFL} = 0$, l'uniformisation ne change pas. Pour les valeurs non-nulles par contre, on voit une forme d'hyperbole apparaître qui tend vers 0. Cela vérifie bien à la fois que :

- Le mécanisme tel qu'il a été mis en place tend à uniformiser les goûts.
- L'uniformisation est d'autant plus rapide que \mathbf{INFL} est grand. On peut facilement avancer que la vitesse d'uniformisation est aussi dépendante de la géométrie de l'espace des agents.

La figure 4.3 quant à elle présente des résultats de simulations avec le mécanisme d'utilité marginale décroissante activé. Plusieurs choses attirent ici notre attention :

- Sans influençabilité, l'utilité marginale décroissante agit de manière comparable au mimétisme comportemental en ce qui concerne l'uniformisation des goûts.
- En comparaison avec le cas dans lequel le mécanisme d'utilité marginale décroissante était désactivé, on voit ici que celui-ci accélère l'uniformisation des goûts.
- L'uniformisation ne tend plus vers 0 mais vers des asymptotes d'autant plus basses que l'influençabilité est importante. On peut expliquer cela par le fait que le mécanisme de d'utilité marginale décroissante introduit des variations dans les goûts qui sont d'autant atténuées que \mathbf{INFL} est grand, d'où les asymptotes non-nulles.
- On voit d'ailleurs qu'une fois l'asymptote atteinte, un bruit reste, causé par l'utilité marginale décroissante.

Ainsi, dans le reste de ce chapitre, l'utilité marginale décroissante ne sera pas utilisée car son comportement, trop lié au mimétisme comportemental par ses effets, empêcherait de voir les effets du mimétisme seul.

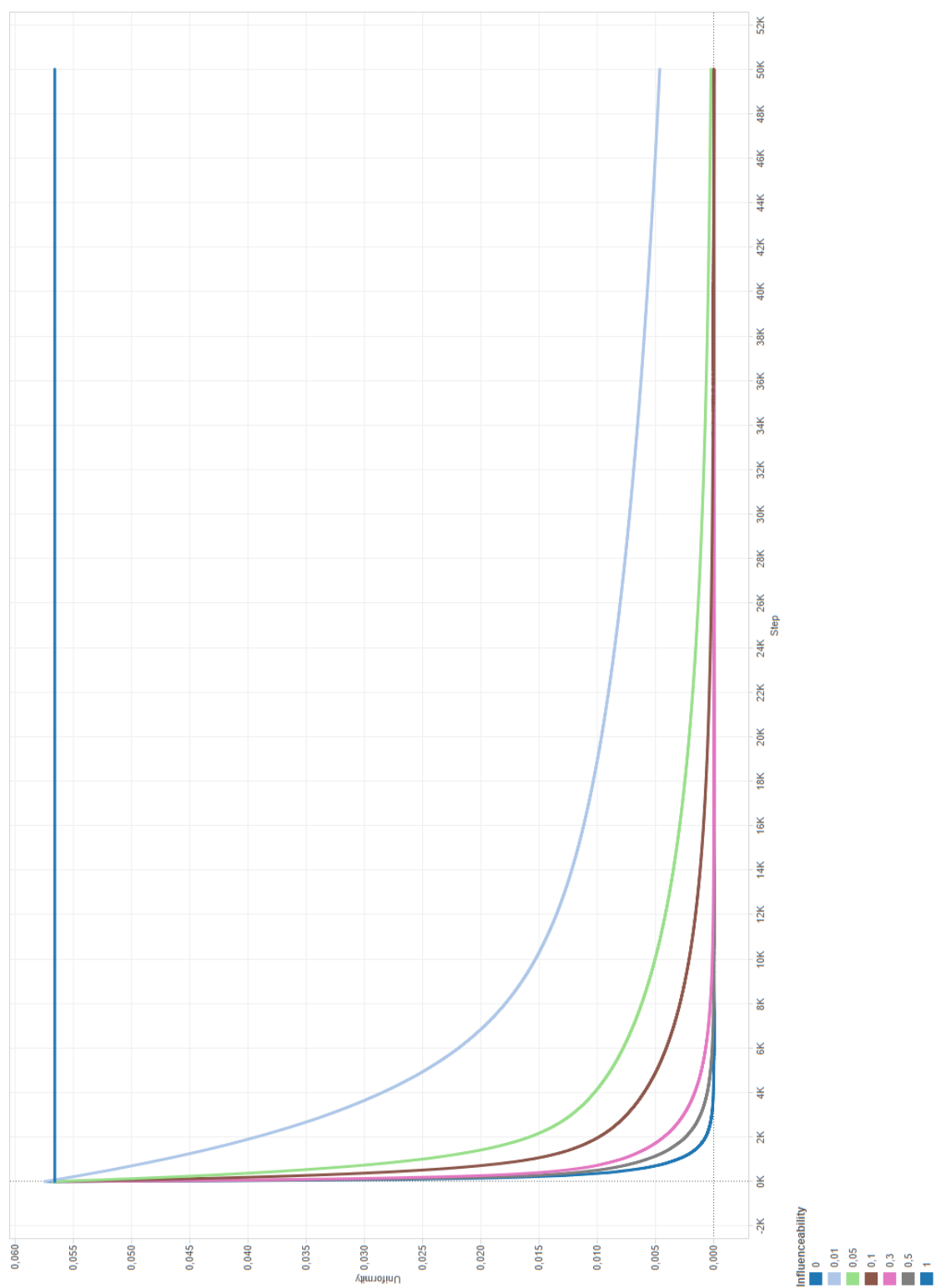


FIGURE 4.2: Évolution des goûts au fil des étapes avec $\mathbf{DMU} = false$

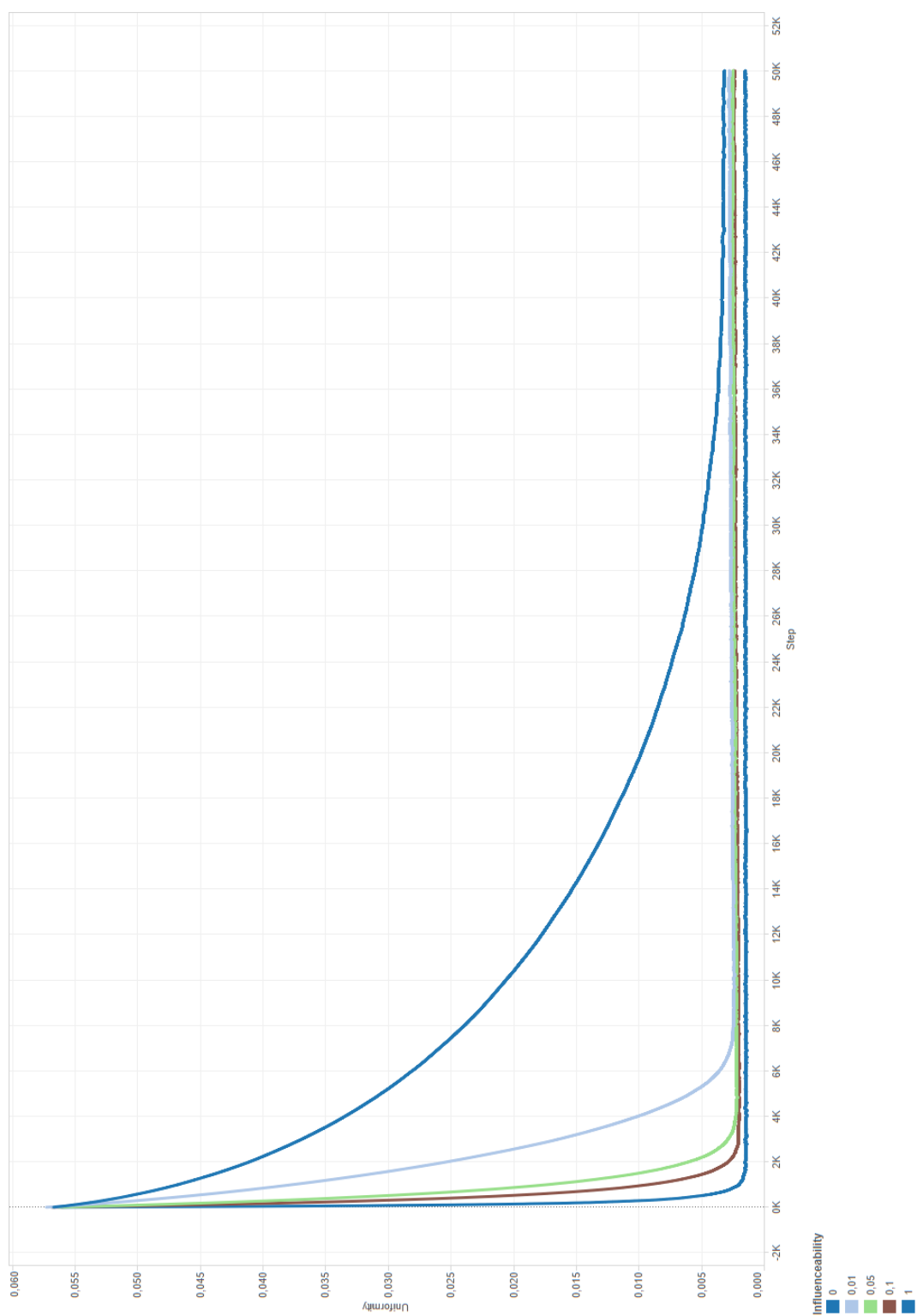


FIGURE 4.3: Évolution des goûts au fil des étapes avec $DMU = true$

4.5 Budget non-constraint

Ici nous utiliserons un budget initial de 500 afin de ne pas limiter les agents. On peut voir aux figures 4.4, 4.5, 4.6 et 4.7 l'évolution des moyennes des principales métriques clés en fonction de l'influçabilité (les traits verticaux représentant les écarts-types).

4.5.1 Utilité

On peut voir que l'efficience (figure 4.4) est équivalente à celle rencontrée avec un marché aléatoire ou avec le mécanisme d'utilité marginale décroissante (figure 3.3). En terme d'égalité, on voit une amélioration dans un premier temps avec un creux du Gini à 0,11 pour **INFL** = 3% puis le Gini augmente jusqu'à rester aux alentours de 0,2, ce qui reste plus égal que pour **INFL** = 0 (marché compétitif classique).

Efficience L'efficience utilitaire d'un marché concurrentiel vient de la présence d'agents ayant des goûts maximums élevés (voir annexe A). Vu que les goûts sont constamment réévalués et que les agents ayant un goût maximal sont peu nombreux, leur goût maximal diminue au fil des étapes. Ils sont donc de moins en moins efficaces, ce qui amène une diminution de l'efficience globale.

Égalité à faible influçabilité La diminution d'inégalité à faible influçabilité s'explique par le bruit que le mécanisme applique en début de simulation, comparable à un marché partiellement aléatoire. En effet, comme on a pu le voir, l'uniformisation des goûts se fait progressivement et tant que cet état n'est pas atteint, l'information véhiculée par les prix des transactions passées est faussée par les modifications des goûts. Cette intuition est confirmée par la figure 4.8 (**INFL** = 10%) où on peut voir le Gini diminuer au fil du temps puis se remettre à augmenter aux environs de la dix-millième étape, moment où les goûts sont déjà très uniformisés (voir figure 4.2).

Égalité à haute influçabilité Au vu des paragraphes précédents, l'intuition nous pousserait à penser que le Gini soit assez faible puisqu'il n'y a plus de consommateurs privilégiés par des goûts trop grands, mais ce n'est pas le cas. Pour analyser cette situation, nous allons prendre le cas extrême de **INFL** = 100% afin d'avoir des goûts uniformes au plus vite et minimiser les bruits. Ainsi, la figure 4.9 a été réalisée, afin de mettre en relation l'utilité et la valeur ajoutée des agents sur cinquante simulations. Étrangement, on peut voir deux groupes distincts : ceux qui ont le plus d'utilité semblent présenter une corrélation inverse entre utilité et

valeur ajoutée, tandis que l'autre groupe présente une corrélation directe entre ces deux métriques. Pour mieux se représenter cela, on peut voir triés par utilité les cinquante agents d'une simulation et leur valeur respective d'utilité, de valeur ajoutée et d'argent ainsi que le nombre d'achats effectués à la figure 4.10. On voit effectivement que les membres du groupe de tête ont une très faible valeur ajoutée et assez peu d'argent alors qu'ils ont les plus gros volumes d'achat. En fait, cela est dû à deux facteurs :

- Pour chaque produit, les agents ont le même goût associé. Il est important de noter que pour un produit donné, tous les agents ont le même goût mais les différents produits n'ont pas les mêmes goûts entre eux, il y a ainsi une hiérarchie qui se crée et donc un produit sort du lot, que nous appellerons le produit phare.
- Le mécanisme même de transaction compétitive et, plus particulièrement, la manière dont l'acheteur compétitif fonctionne (section 2.1.5.b) amène à cette situation. En fait, la création d'une offre d'achat ne tient pas compte des stocks des vendeurs et le produit phare étant ce qu'il est, celui-ci est souvent en rupture de stock. Ainsi, pendant que les plus riches se battent pour l'achat d'un produit qui n'est pas disponible, les moins fortunés, qui n'arrivent pas à suivre, font alors des offres sur d'autres produits qui eux sont disponibles.

Nous pouvons donc voir que la manière dont le modèle est construit amène, dans ce cas extrême, à une situation des plus étonnantes. Plusieurs potentielles modifications pourraient amener à un résultat plus attendu :

- La création d'une offre d'achat pour un type de produit ne peut se faire que si au moins un autre agent possède au moins un exemplaire du produit. Cela réglerait le problème vu ici mais pourrait poser problème si les agents ayant de ce produit en stock n'ont pas envie de le proposer à la vente.
- La création d'une offre d'achat pour un type de produit ne peut se faire que si une offre de vente pour ce type de produit a déjà été faite.
- Quand un agent est sélectionné pour proposer une offre d'achat ou de vente, celui-ci ne peut en faire qu'une sur un seul produit. Il serait intéressant qu'il puisse en faire plus (ce serait alors un nouveau paramètre de la simulation) ou même faire une proposition pour chaque type de produit. Ainsi, l'absence de stock pour un certain type de produit ne serait plus un problème.

Si une modification devait être amenée, la dernière proposition semble être la meilleure. Il est à noter qu'en dehors du cas du mimétisme, la rupture de stock de certains produits est beaucoup moins impactant car, en moyenne, tous les produits se ressemblent.

4.5.2 Argent

On peut voir l'évolution de l'argent global et du Gini associé à la figure 4.5.

Efficience Il n'y a ici qu'une modification infime, relativement à la quantité d'argent disponible. L'explication de cette diminution est donnée à la section suivante concernant les systèmes à budgets restreints car le peu d'argent qui y est disponible permet de mieux mettre en évidence cette perte.

Égalité La distribution d'argent est mieux répartie que dans le cas de figure exempt de mimétisme comportemental, ce qui est attendu puisque la disparition des consommateurs favorisés par leur goût maximums entraîne la disparition des vendeurs qui profitaient des lourdes dépenses qu'ils se permettaient.

4.5.3 Valeur ajoutée

On peut voir l'évolution de la valeur ajoutée globale et du Gini associé à la figure 4.6.

Efficience On voit ici une chute colossale de l'efficience. Ce phénomène s'explique de la même manière que précédemment : les consommateurs favorisés dépensaient beaucoup pour acheter leurs produits préférés, les prix de réserve dépendant directement du goût. Comme les goûts maximums diminuent grandement avec le mimétisme comportemental, les prix que sont prêts à proposer les acheteurs sont biens moindres, diminuant de fait la valeur ajoutée par achat et donc la valeur ajoutée globale.

Égalité On observe une nette augmentation de l'inégalité, qui découle de la hiérarchisation des produits. L'effet est ici double :

- Le produit phare a un prix de vente moyen assez élevé, du fait de la compétition farouche des acheteurs ayant des moyens élevés.
- Les autres produits, principalement achetés par des agents peu fortunés, sont donc vendus, en moyenne, à plus bas prix.

Ainsi, les agents spécialisés dans la production du produit phare concentre plus la valeur ajoutée que les autres agents, d'où l'augmentation de l'inégalité.

4.5.4 Défaillance du marché

On peut voir à la figure 4.7 les moyennes, écarts-types et maximums de défaillance du marché en fonction de l'influencabilité. On voit donc que le marché est moins stable en présence de mimétisme comportemental qu'il ne le serait en son absence,

sans pour autant être problématique. En effet, aucune simulation n'est arrivée au seuil critique de la défaillance systématique du marché et la moyenne est très basse avec des écart-types conséquents. En fait, la présence des défaillances du marché vient du fait que, lorsque le produit phare est en rupture de stock, une bonne partie des acheteurs enchérissent dessus, laissant donc la plupart des autres produits sans offres d'achat acceptable, empêchant la création de transactions.

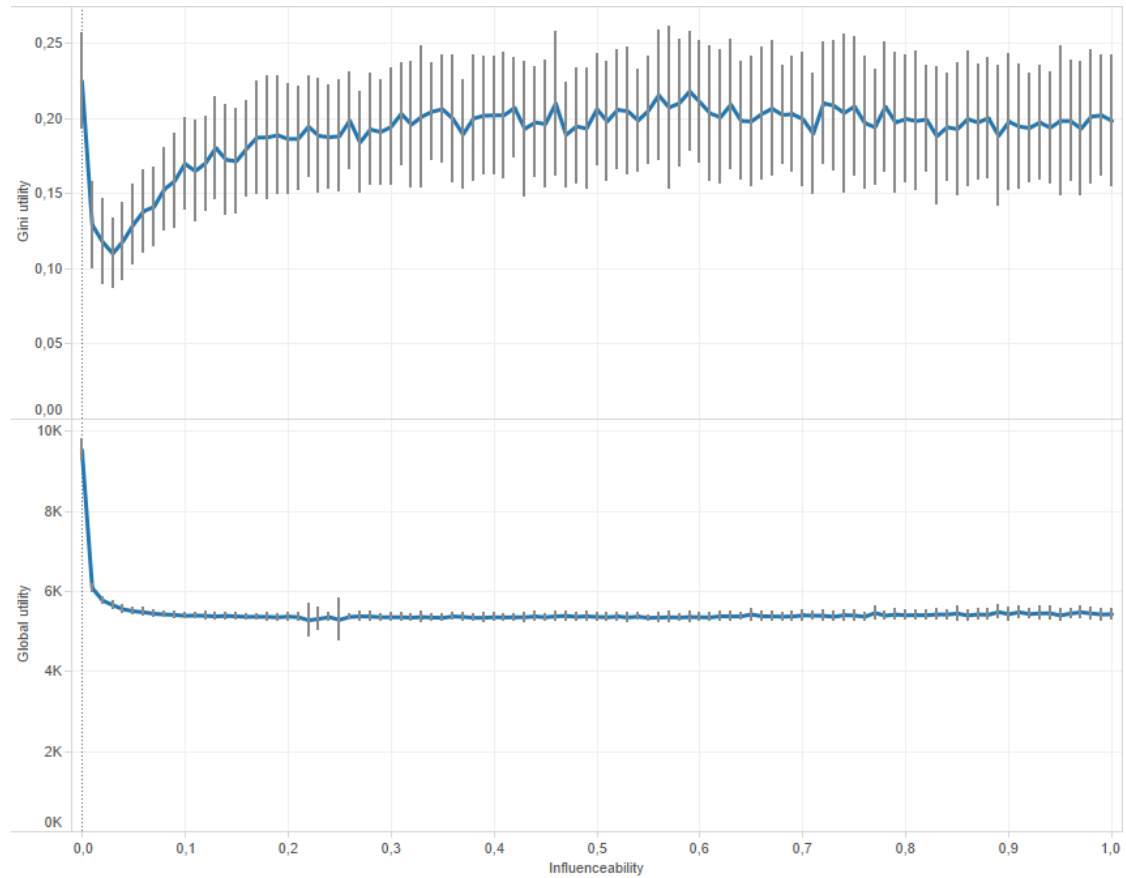


FIGURE 4.4: Utilité en fonction de l'influçabilité

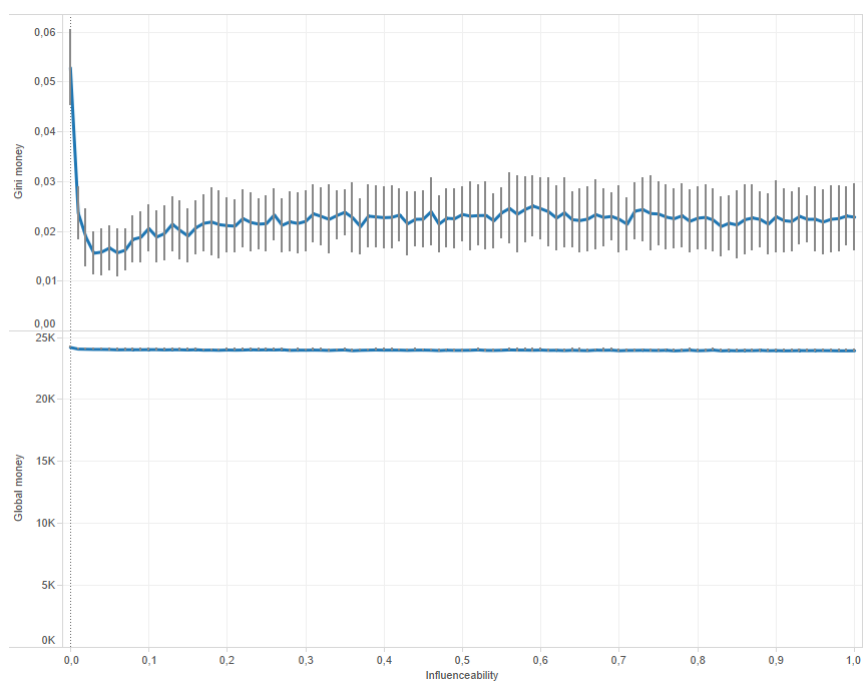


FIGURE 4.5: Argent en fonction de l'influçabilité

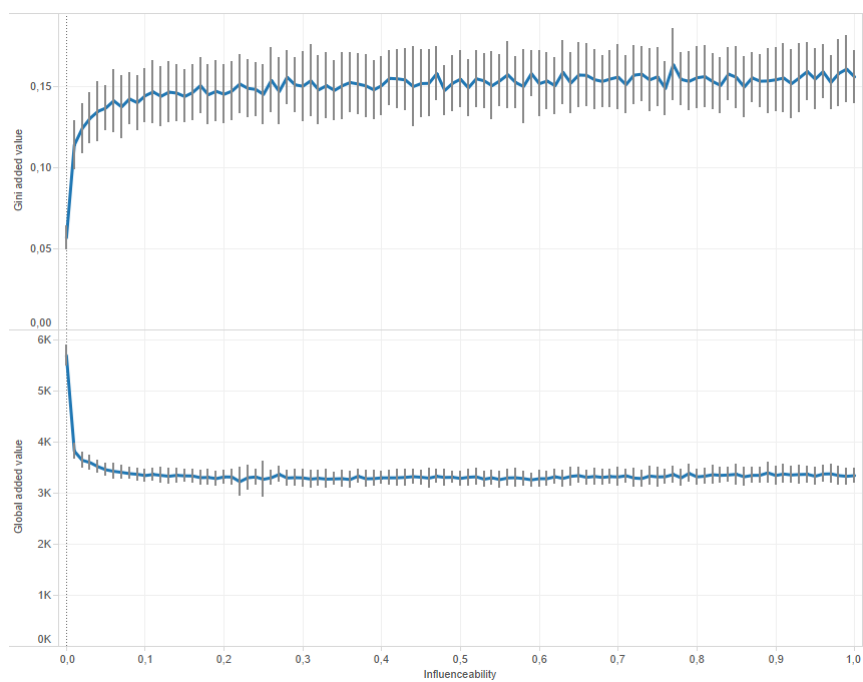


FIGURE 4.6: Valeur ajoutée en fonction de l'influçabilité

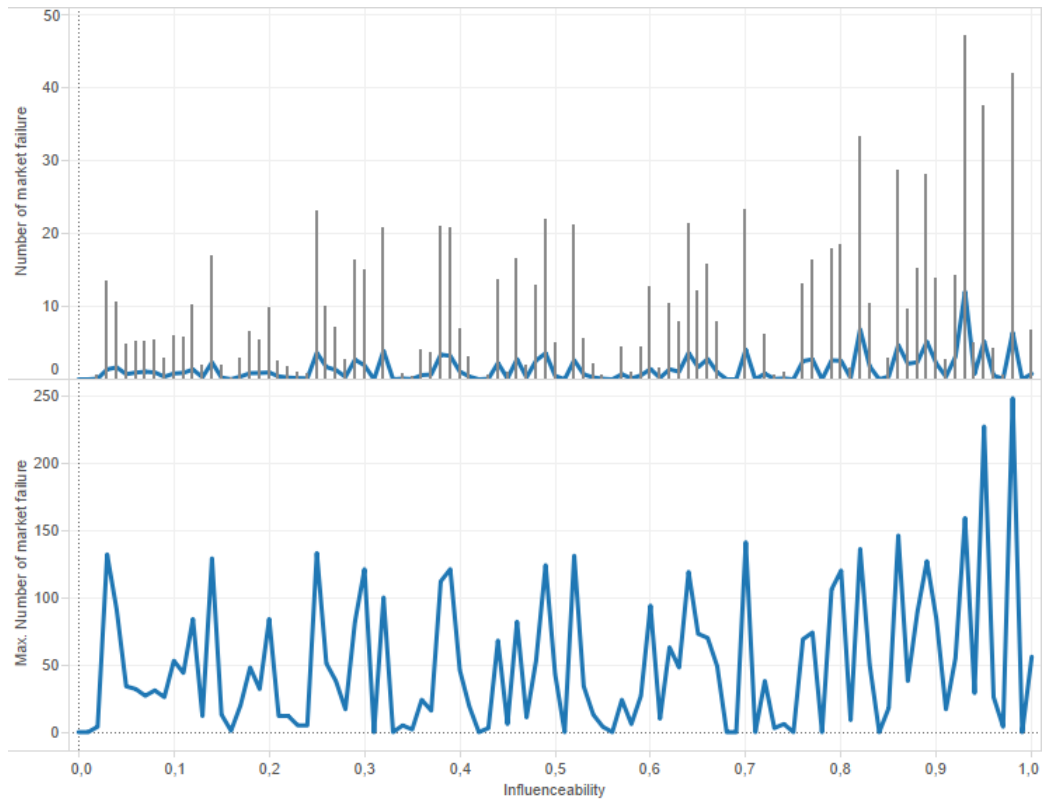


FIGURE 4.7: Défaillance de marché en fonction de l'influçabilité

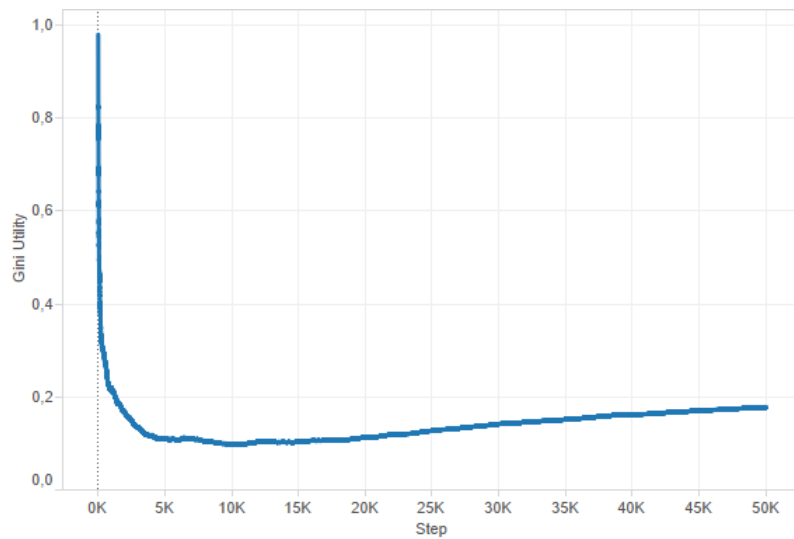


FIGURE 4.8: Évolution de Gini utilité au cours du temps - **INFL** = 10%

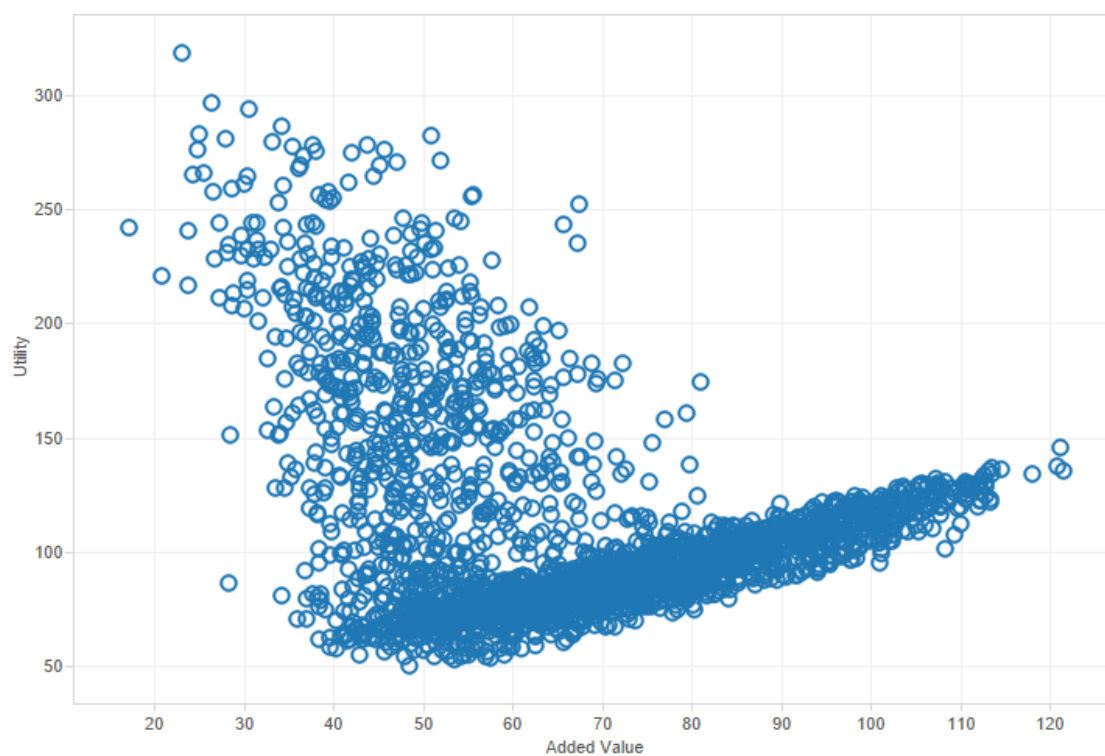


FIGURE 4.9: Utilité des agents en fonction de leur valeur ajoutée - **INFL** = 100%

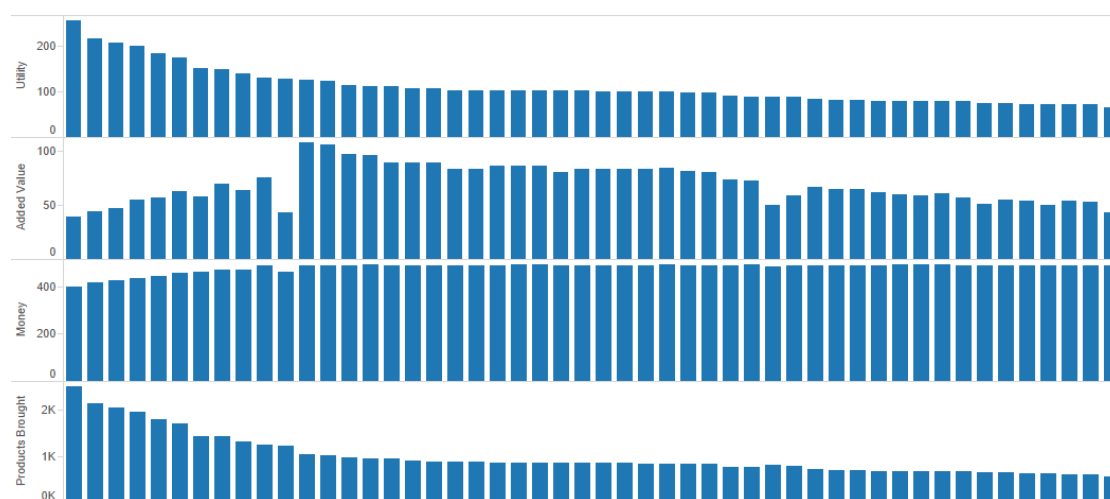


FIGURE 4.10: Utilité, argent, valeur ajoutée et volume d'achat des 50 agents d'une simulation - **INFL** = 100%

4.6 Budget contraint

Dans ce cas-ci, l'argent initial a été fixé à $m_s = 17$, qui a été la valeur la plus basse de budget initial considérée. De fait, aller plus en deçà amenait à des simulations très instables finissant le plus souvent par une défaillance systématique du marché.

De plus, seul l'argent et les défaillances de marché seront discutés dans cette section car l'utilité et la valeur ajoutée ont des comportements tout à fait similaires aux cas sans contraintes budgétaires. À titre informatif, les évolutions de valeurs globales et des Gini de ces deux métriques sont disponibles à l'annexe B.

4.6.1 Argent

On voit à la figure 4.11 l'évolution de la valeur globale, le Gini et la valeur minimale d'argent en fonction de l'influencabilité.

Égalité On voit ici un comportement inverse à celui du cas à budget confortable : le Gini augmente par rapport aux simulations sans mimétisme comportemental. En fait, cela vient du fait que les agents sont moins spécialisés. Comme le produit phare se vend cher, les agents, même s'ils sont spécialisés dans un autre produit, produisent de temps à autre le produit phare. Comme ils produisent deux types de produits, ils sont forcément moins spécialisés et donc dépensent plus à la production, contrairement aux agents spécialisés dans la production du produit phare, qui sont eux plus efficaces. Cette différence d'efficacité de production est aussi présente dans les cas à budgets non contraints mais cette perte d'efficacité est noyée par la quantité d'argent disponible.

Efficience La chute d'efficience en terme d'argent s'explique de la même manière que la diminution de l'égalité. On voit d'ailleurs que la situation peut devenir véritablement critique allant jusqu'à des valeurs de 61 d'argent au total, donc à peine 1,22 argent par agent en moyenne, sans compter sur la réelle répartition de l'argent. Il n'est pas étonnant de trouver des agents en banqueroute.

4.6.2 Défaillance du marché

Au regard de la figure 4.12, on voit que les simulations sont bien moins stables avec mimétisme comportemental et ce jusqu'à donner des défaillances systématiques du marché. Au vu des observations faites tant sur l'efficience que sur l'égalité d'un point de vue argent, ces observations sont on ne peut plus logiques.

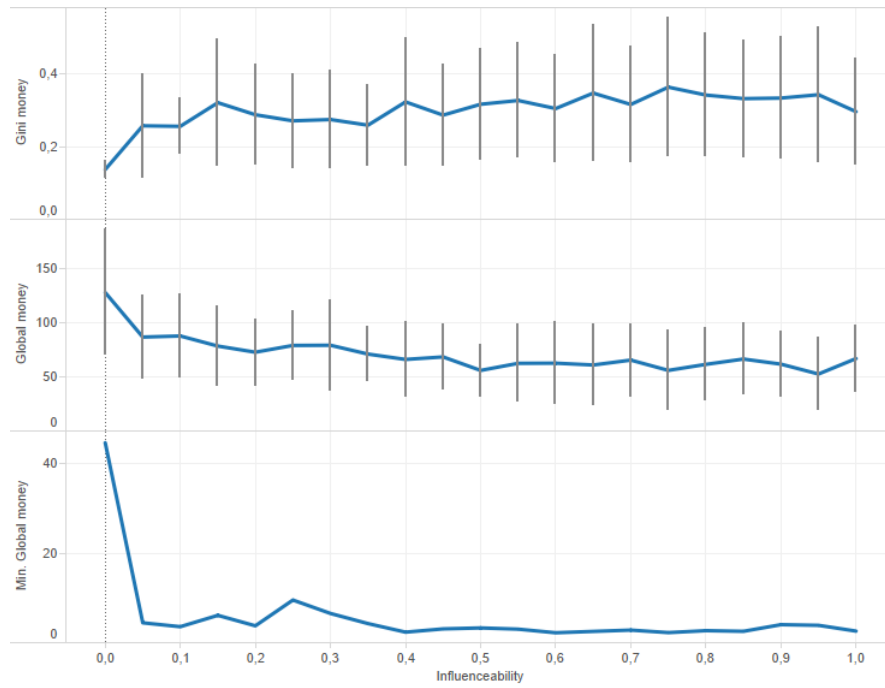


FIGURE 4.11: Argent en fonction de l'influçabilité

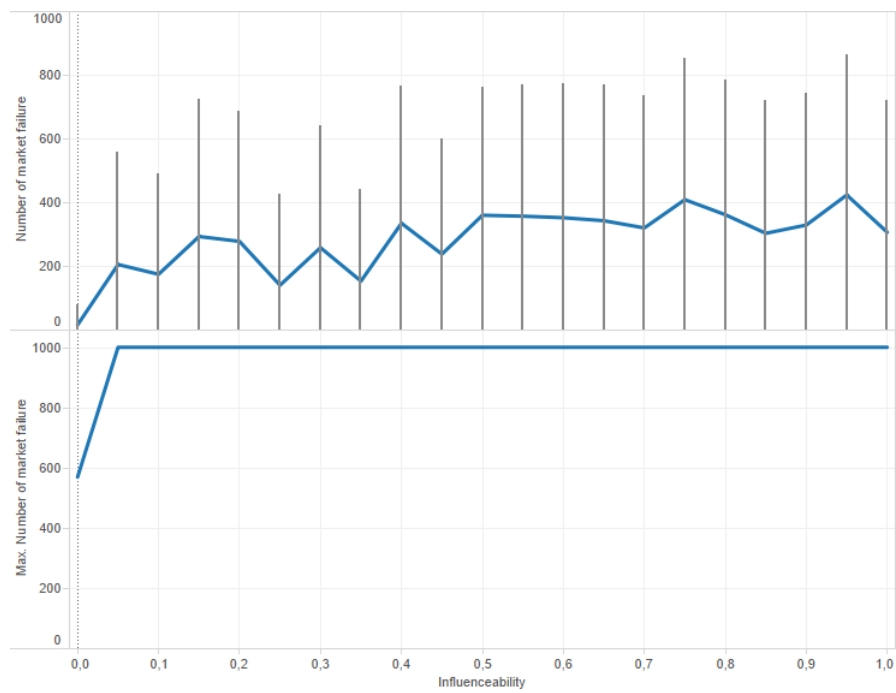


FIGURE 4.12: *Market failure* en fonction de l'influçabilité

4.7 Conclusions et travaux futurs

Nous avons pu voir que le mécanisme de mimétisme comportemental pouvait amener des situations inattendues¹, il serait donc intéressant de se pencher sur le modèle de base et de potentiellement y amener des modifications. De plus, il s'est avéré que, à budget restreint, l'efficacité et l'égalité du point de vue argent étaient tels que les marchés devenaient très instables et que les liquidités disponibles dans le système devenaient très faibles, il serait alors intéressant de voir comment évolueraient ces marchés si l'argent ne se consumait pas à la production, mais était réutilisé (par exemple en redistribuant l'argent utilisé parmi les agents).

Enfin, vis-à-vis du mécanisme en lui-même, il serait intéressant de découper l'espace des agents. En effet, nous arrivons à une situation très uniforme où tous les agents se ressemblent (en tant que consommateurs). Séparer l'espace des agents en plusieurs groupes permettrait ainsi de faire apparaître différentes classes sociales, culturelles ou économiques (selon l'interprétation), ce qui se rapprocherait plus de la réalité.

1. comme nous avons pu le voir en section 4.5.1

Chapitre 5

Monopole

5.1 Concept

Le monopole est défini comme “Privilège (de droit ou de fait) dont dispose un individu, une entreprise ou un organisme public de fabriquer ou de vendre seul certains biens ou certains services à l’exclusion de tout concurrent [7]”. La notion même de monopole est d’une grande importance dans les lois régissant les marchés, dont plusieurs ont pour but d’empêcher la création de monopole. Il est donc intéressant de voir ce qu’un mécanisme de monopole pourrait amener comme conséquences sur le modèle.

5.2 Modèle

Outil légal servant à la fois de vecteur d’innovation et de monopole temporaire, le système de brevet (dans une version simplifiée) a été mis en place. Ainsi, les simulations sont caractérisées par un nouveau paramètre : le nombre de brevets **PN** (par défaut 0) accordé au début de la simulation, qui ne peut logiquement dépasser le nombre de type de produits.

Concrètement, **PN** agents sont choisis au départ de la simulation. À chacun d’entre eux, on octroie un brevet dont le type de produit concerné est celui pour lequel ils sont le plus talentueux (dont la valeur de talent associée est minimale). Si au moins deux agents ont le même produit choisi, seul un d’entre eux reçoit le brevet, les autres sont alors disqualifiés et d’autres agents sont sélectionnés pour potentiellement recevoir un brevet. *In fine*, chaque agent ne peut avoir plus d’un brevet et il n’y a qu’un seul brevet par type de produit.

Ainsi, lors des phases de production, le producteur choisi demande au bureau des brevets s’il a le droit de produire le type de produit qu’il a choisi. La production est acceptée si une des deux conditions suivantes est respectée :

- Aucun brevet n’existe pour le type de produit voulu
- Un brevet existe et l’agent possède le brevet associé

Par ce mécanisme, on a donc bien un cas de monopole sur les produits brevetés.

Enfin, il est à noter que le monopole n’est ici pas “exact”, dans le sens où même si on a bien des monopoles sur certains types de produit, les produits en eux-mêmes ne sont pas très différents les uns des autres puisqu’ils servent tous le même dessein : générer de l’utilité. De ce fait, étudier ce système de monopole avec utilité marginale décroissante pourrait être intéressant parce qu’il rendrait “nécessaire” les produits brevetés au cours du temps.

5.3 Budget non-constraint

Dans cette section, les paramètres utilisés sont ceux précisés à la figure 5.1. On peut voir à la figure 5.2 l’évolution des métriques principales en suivant l’évolution du nombre de brevets et à la figure 5.3 l’évolution des nombres moyens de défaillance du marché et d’étapes. De plus, la figure 5.4 présente plusieurs métriques en divisant les agents en deux catégories : ceux possédant un brevet et ceux n’en possédant pas. Finalement, la figure 5.5 présente les volumes de vente et les prix moyens des produits, séparant ceux sujets à brevet et les autres.

5.3.1 Utilité

Égalité On voit l’égalité décroître à mesure que le nombre de brevets augmente, ce qui est attendu, et ce pour plusieurs raisons :

- Les agents dont le produit préféré (goût maximal) est breveté sont handicapé vis-vis des autres puisqu’ils doivent acheter leur produit préféré pour plus cher, vu qu’il n’y a pas de concurrence à la vente.
- Les agents possédant des brevets peuvent être désavantagés par rapport aux autres car ils n’ont pas l’opportunité d’acheter, et donc de consommer, le type de produit qu’ils ont breveté.

On peut d’ailleurs voir (figure 5.4) que la différence d’utilité est assez peu marquée entre les deux catégories d’agent, sauf dans le cas où il y a autant de brevet que de type de produit. Dans ce cas précis, on voit que l’égalité augmente grandement (sans surpasser le cas sans monopole) alors que l’on s’attendrait à un système

profondément inégal. Cela est dû au fait que l'on revient à un système similaire à celui sans monopole mais avec des différences amenant cet apport d'inégalité :

- Tout les prix sont plus élevés du fait de l'absence de concurrence à la vente.
- La plupart des agents ne produisent rien, ils ne peuvent donc que s'appauvrir au fil des étapes.
- Les agents ayant des brevets concentrent l'argent.

On a pu voir (annexe A) qu'il y avait deux classes d'agents, les consommateurs et les producteurs. La présence de monopoles autant marqués amène une classe hybride entre les deux : les agents ayant des brevets concentrent tellement l'argent qu'ils arrivent à entrer en compétition avec les consommateurs, utilisant leur grande réserve de liquidité pour contrebalancer les goûts importants des consommateurs.

Efficience On voit l'efficience décroître avec le nombre de brevets grandissant. Cela est dû au fait que les produits non-brevetés se vendent bien mieux que les produits brevetés (figure 5.5) car le manque de concurrence à la vente ralentit le mécanisme de double enchère pour ces produits. Ainsi, les agents qui ont comme produit préféré un de ceux brevetés achètent moins souvent, et l'efficience globale s'en retrouve atteinte. D'ailleurs, le regain d'efficience à dix brevets vient du fait que les doubles enchères évoluent à la même vitesse car tous les produits sont brevetés. Il reste cependant une perte par rapport à l'absence de monopole dû au fait que les agents ayant des brevets font concurrence aux consommateurs à haut goût maximal, et donc consomment les produits moins efficacement.

5.3.2 Argent

Égalité L'argent est de moins en moins bien réparti (figure 5.2) et ce sont les agents ayant des brevets qui le concentrent de plus en plus (figure 5.4) comme on peut s'y attendre.

Efficience On constate une diminution de l'efficience à la production (figure 5.4) due au fait que les agents n'ayant pas de brevet sont de plus en plus contraints sur les produits qu'ils peuvent produire, les amenant à produire des produits pour lesquels ils ne sont pas très doués. Par contre, l'efficience est à son paroxysme pour dix brevets, ce qui est logique puisque nous n'avons alors plus que dix producteurs produisant chacun un type de produit différent pour lequel ils avaient dès le départ un bon talent.

5.3.3 Valeur ajoutée

Égalité Comme on peut s’y attendre, la valeur ajoutée est de moins en moins bien répartie (figure 5.2) et ce sont les agents ayant des brevets qui la concentrent de plus en plus (figure 5.4).

Efficience Jusqu’à neuf brevets, la valeur ajoutée globale chute (figure 5.2). Cette chute est dû au fait que la majorité des achats sont faits sur des produits non-brevetés (figure 5.5) et que plus il y a de brevets, plus la compétition à la vente des produits non-brevetés est sévère. Pour l’exemple, si on prend une simulation avec neuf brevets, nous avons donc quarante-et-un agents essayant tous de vendre le même type de produit, ce qui fait que le prix de vente sera très bas, amenant donc peu de valeur ajoutée. En opposé, le cas à dix brevets voit la valeur ajoutée globale exploser, ce qui est dû à l’absence de compétition à la vente sur les produits, amenant des prix de vente excessif et donc une excellente profitabilité.

5.3.4 Défaillance de marché

On voit que jusqu’à neuf brevets, ceux-ci n’impactent pas la stabilité des simulations (figure 5.3). Par contre, le cas à dix brevets est moins stable, dû au fonctionnement des transactions compétitives : rien n’empêche les monopolisateurs de faire des offres d’achat sur leur propre produit. Du fait de la grande quantité d’argent dont ils disposent, il se peut qu’ils proposent un prix d’achat trop élevé et que aucun autre agent n’ose alors plus faire de nouvelle proposition, bloquant le système de double enchère. Deux solutions pourraient débloquent ce genre de situation :

- Empêcher les agents ayant un brevet de faire des propositions d’achat sur leur type de produit. En effet, comme ils n’ont pas la possibilité d’en acheter, faire des propositions d’achat dessus n’a pas de sens, si ce n’est d’introduire une augmentation artificielle des prix.
- Permettre qu’une transaction se fasse même si les offres de vente et d’achat viennent du même agent. On pourrait ainsi accomplir de fausses transactions ne générant pas de valeur ajoutée ou une valeur ajoutée négative correspondant au prix de production du produit. Cette solution aurait du sens puisque dans un cas où il y aurait un autre vendeur du produit, l’agent pourrait préférer consommer son propre produit plutôt que de payer plus pour acheter le produit de quelqu’un d’autre.

5.3.5 Production

On voit que les agents ayant un brevet ont en moyenne bien plus de produits en stock que les autres (figure 5.4). Cela est dû au mécanisme même de décision de production, qui se base sur le prix moyen de vente (voir section 2.1.2). Ainsi, deux informations similaires semblent manquer aux producteurs :

- La moyenne des prix calculée ne tient pas compte de la fréquence de vente. Ainsi, si sur les 1000 dernières transactions un produit n'a été vendu que 2 fois, le calcul de sa moyenne sera divisé par 2 et non par 1000. Ainsi, l'information sur la fréquence de vente du produit est perdue.
- Le producteur ne vérifie pas la quantité de produit qu'il a actuellement en stock.

Posséder et utiliser au moins une de ces informations permettrait aux producteurs monopolistiques d'être plus efficaces.

Number of products:	fixed ▼	10
Number of agents:	fixed ▼	50
Initial agent's money:	fixed ▼	500
Initial agent's utility:	fixed ▼	0.0
#Initial production:	fixed ▼	10
Maximum possible benefit:	fixed ▼	5.0
#Last transactions to consider:	fixed ▼	1000
Part of random production:	fixed ▼	0.0
Part of randomness of the market:	fixed ▼	0.0
#Productions for specialization:	fixed ▼	100
Diminishing marginal utility ?:	fixed ▼	no ▼
Influenceability of the agents:	fixed ▼	0.0
Number of patents:	variates ▼	min: 0 max: 10 step: 1

FIGURE 5.1: Paramètres de simulation

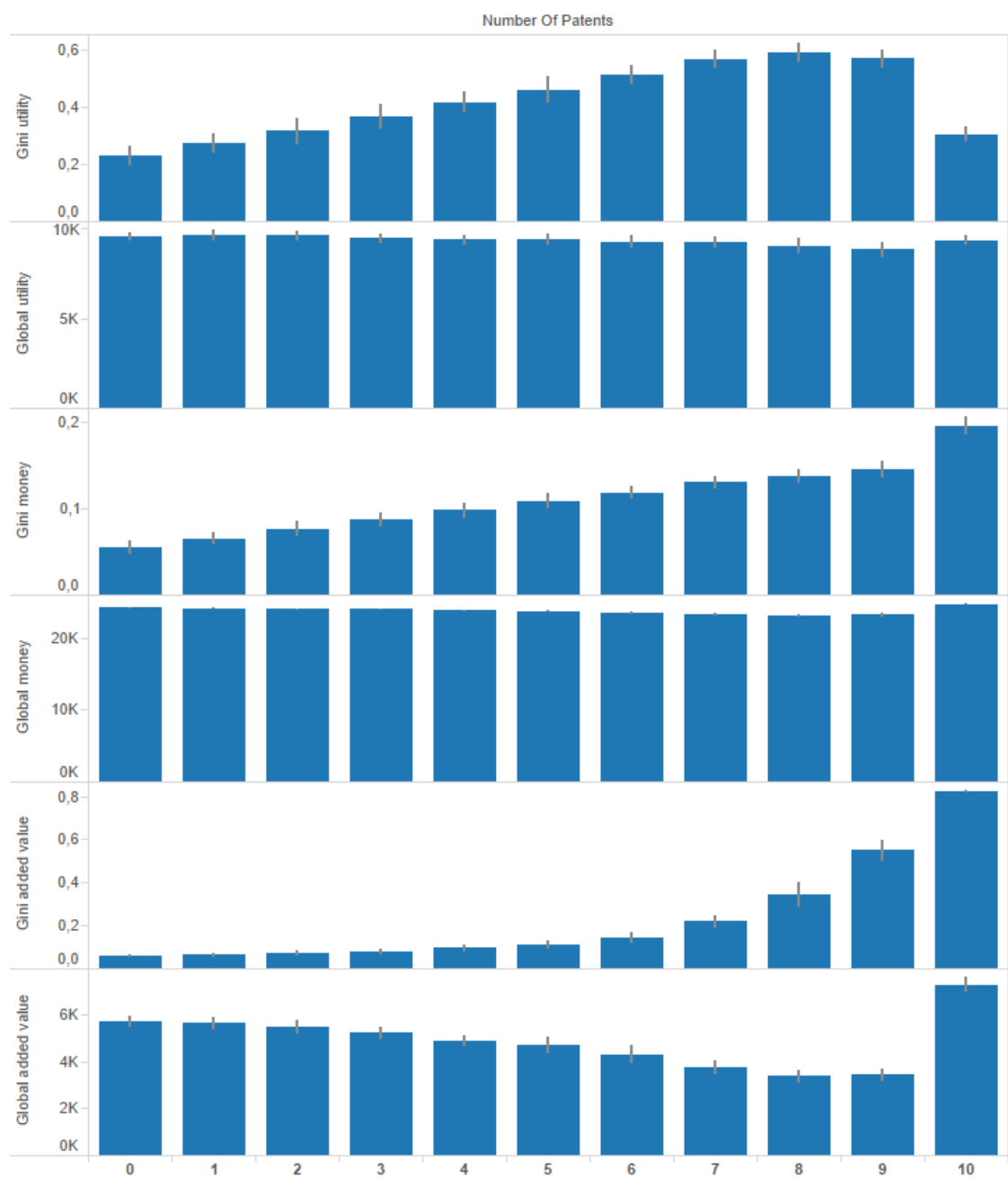


FIGURE 5.2: Valeurs globales et coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction du nombre de brevet

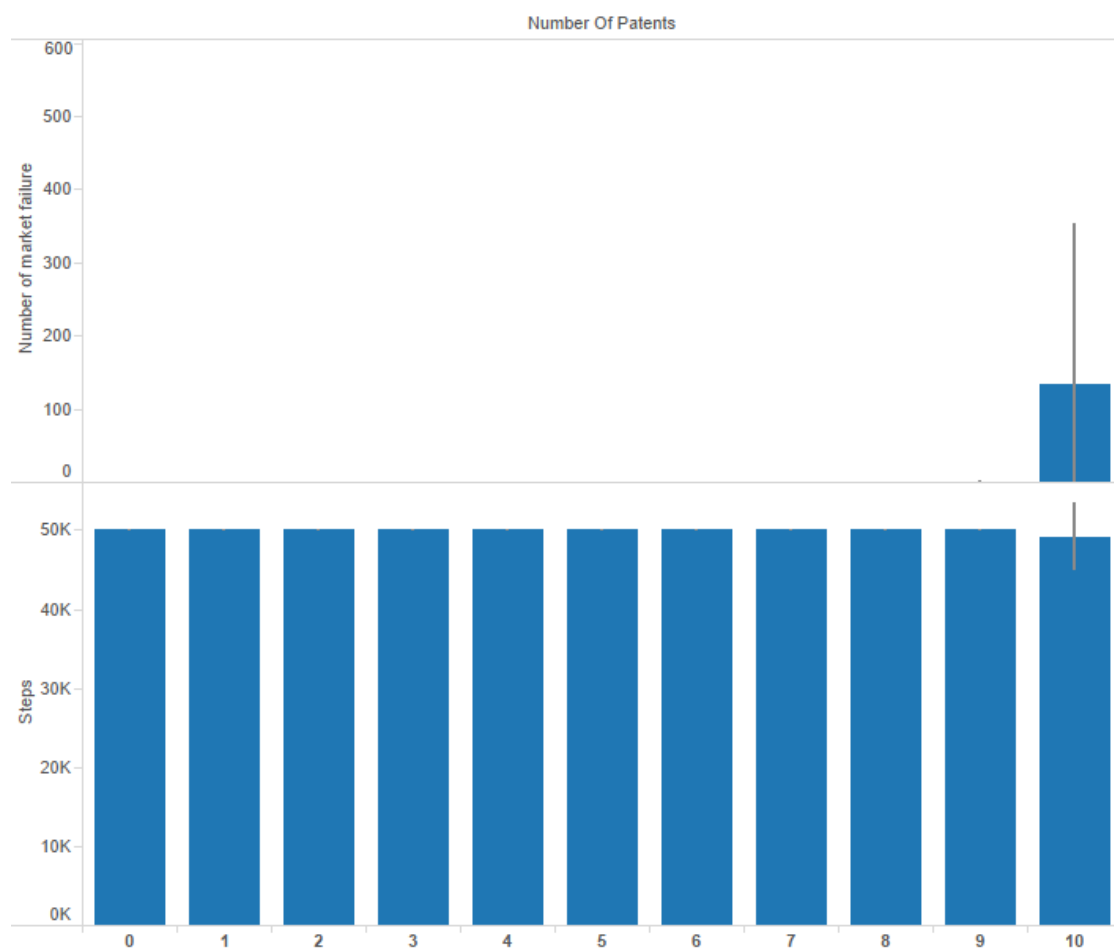


FIGURE 5.3: Nombre de défaillance du marché et nombre d'étapes en fonction du nombre de brevet

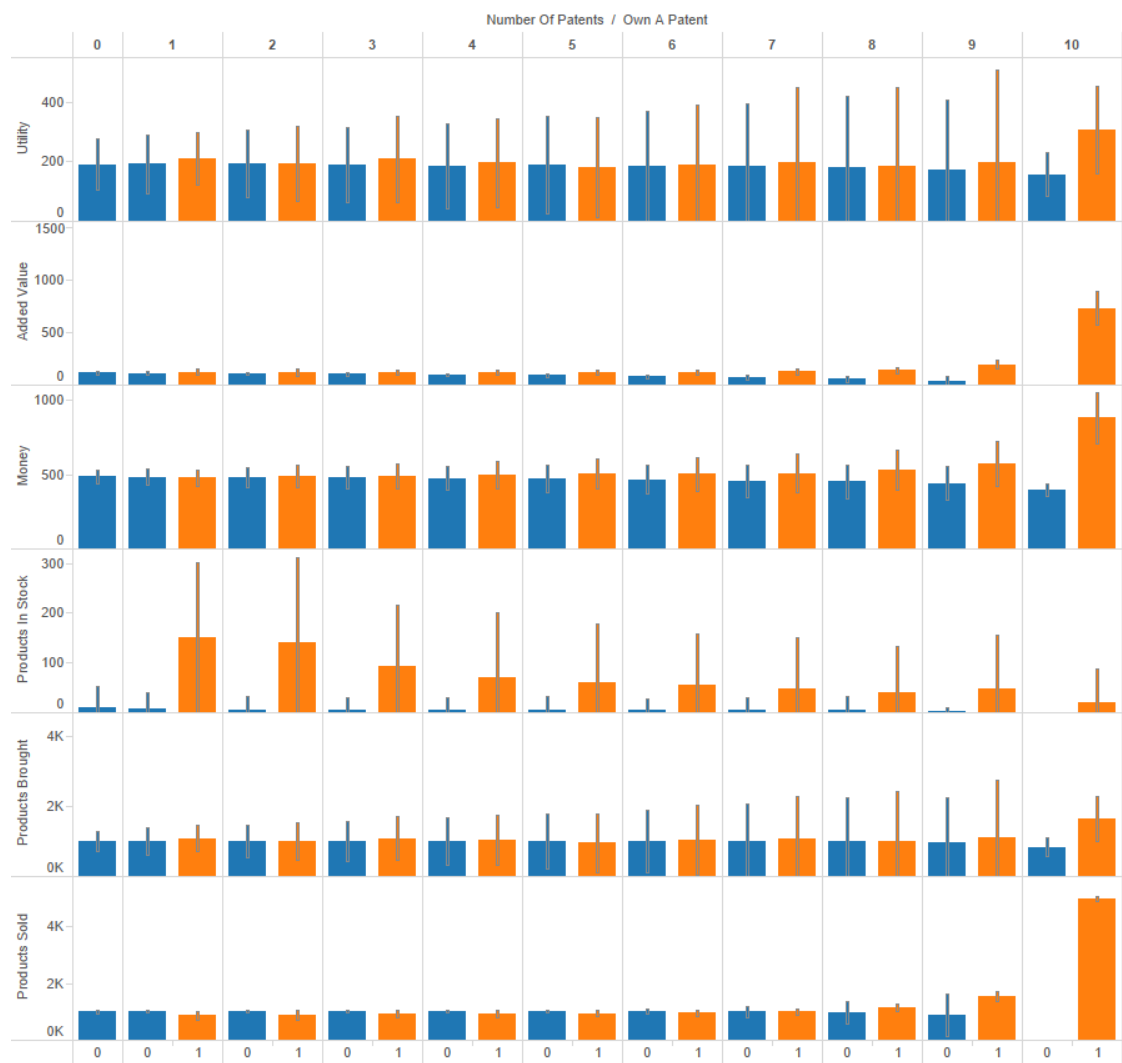


FIGURE 5.4: Agents : Utilité, valeur ajoutée, argent, produits en stock, produits vendus et produits achetés, dépendant du nombre de brevet et séparés entre agents ayant un brevet et ceux n'en ayant pas

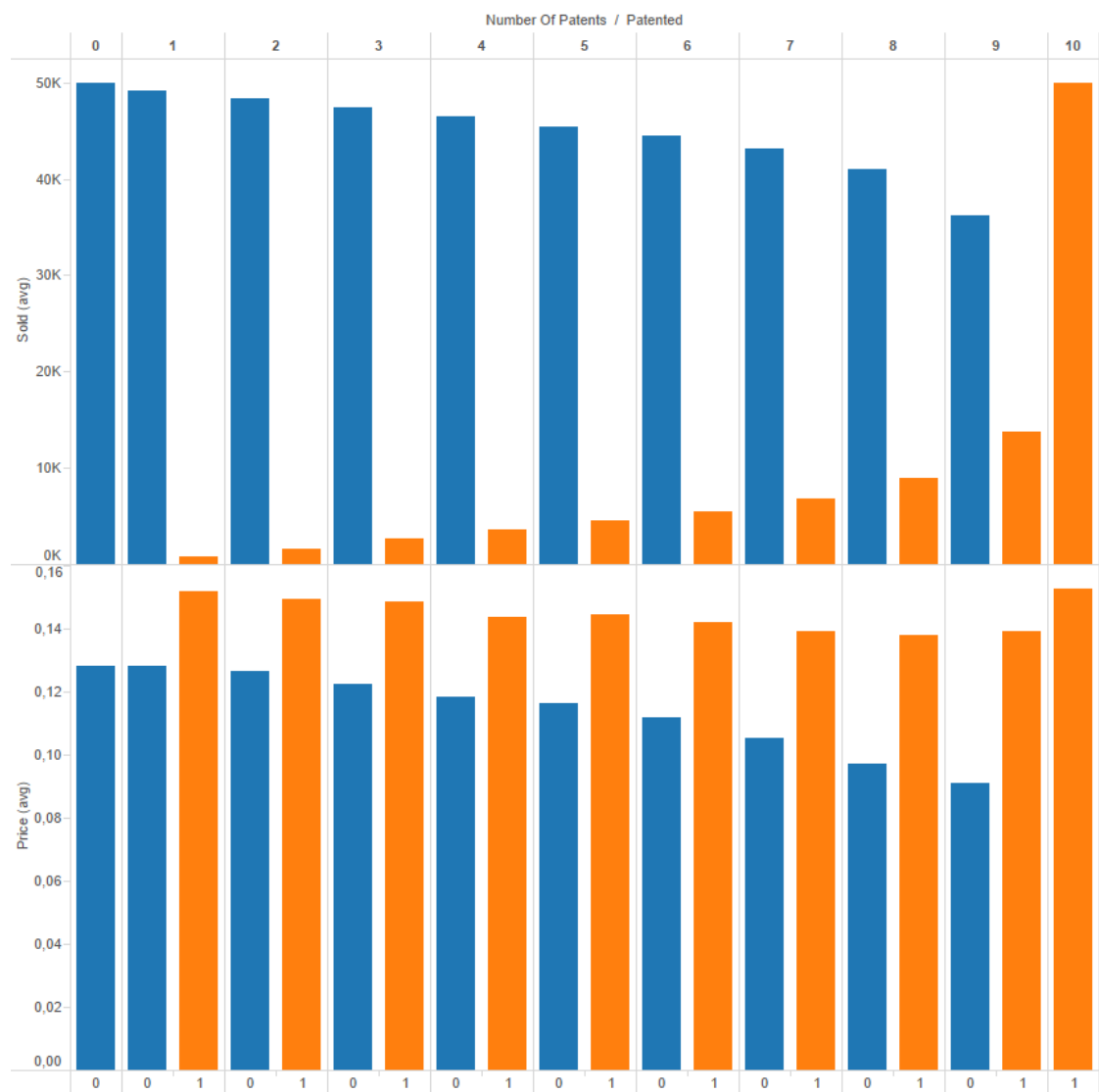


FIGURE 5.5: Produits : volume moyen de vente et prix moyens selon qu'ils soient brevetés ou non

5.4 Budget restreint

Dans cette section, les paramètres utilisés sont ceux précisés à la figure 5.6. On peut voir à la figure 5.7 l'évolution des métriques principales en suivant l'évolution du nombre de brevets et à la figure 5.8 l'évolution des nombres moyens de défaillance du marché et d'étapes. De plus, la figure 5.9 présente plusieurs métriques en divisant les agents en deux catégories : ceux possédant un brevet et ceux n'en possédant

pas. Finalement, la figure 5.10 présente les volumes de vente et les prix moyens des produits, selon qu'ils sont brevetés ou pas. On peut d'ailleurs voir que l'évolution de ces différentes métriques suit le même chemin que le cas sans contrainte budgétaire, à deux points près.

Répartition On avait pu voir dans la section précédente qu'en terme d'utilité et d'argent, les agents avec brevets ne concentraient pas tant que ça ces valeurs relativement aux autres agents. Du fait du manque de liquidité, les agents à brevets concentrent bien plus l'argent que les autres agents. Ils ont alors un pouvoir d'achat très grand et concurrencent à l'achat les agents à haut goût qui n'ont plus les moyens de leurs appétits.

Défaillance de marché On peut voir (figure 5.8) dès l'apparition du premier brevet, que le marché est moins stable, ce qui est finalement assez attendu puisque les agents ayant des brevets ont tendance à concentrer l'argent, ce qui devient critique dans un contexte à budget restreint.

Number of products:	fixed	10
Number of agents:	fixed	50
Initial agent's money:	fixed	20
Initial agent's utility:	fixed	0.0
#Initial production:	fixed	10
Maximum possible benefit:	fixed	5.0
#Last transactions to consider:	fixed	1000
Part of random production:	fixed	0.0
Part of randomness of the market:	fixed	0.0
#Productions for specialization:	fixed	100
Diminishing marginal utility ?:	fixed	no
Influenceability of the agents:	fixed	0.0
Number of patents:	variates	min: 0 max: 10 step: 1

FIGURE 5.6: Paramètres de simulation

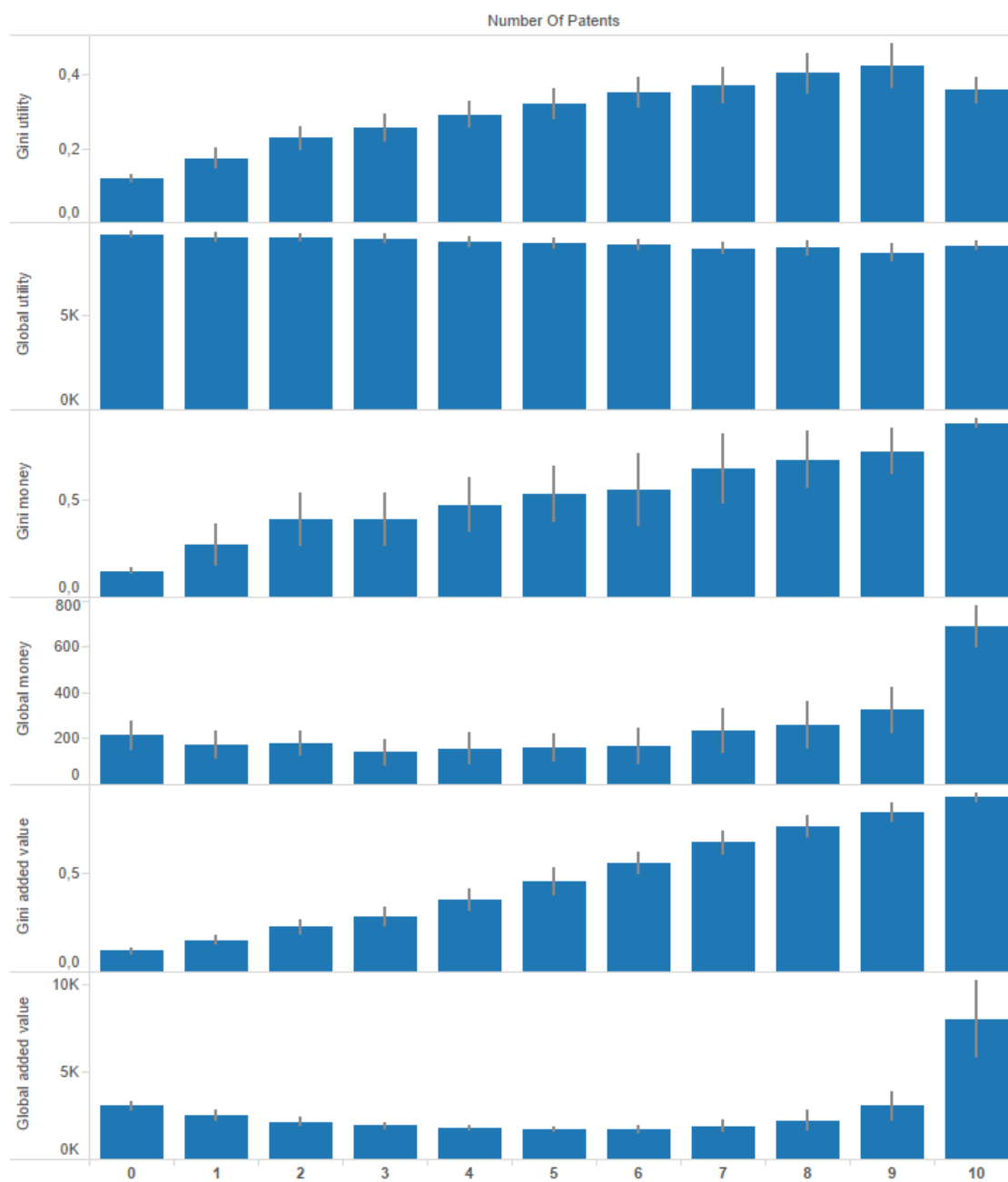


FIGURE 5.7: Valeurs globales et coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction du nombre de brevet

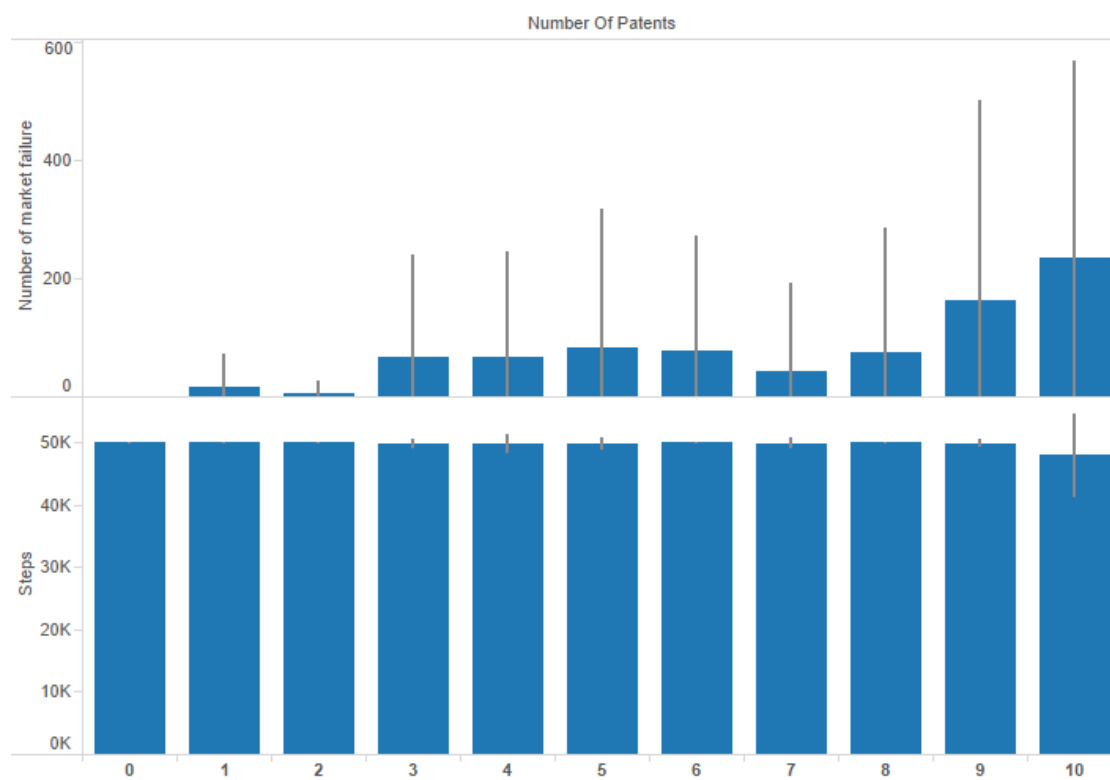


FIGURE 5.8: Nombre de défaillance du marché et nombre d'étapes en fonction du nombre de brevet

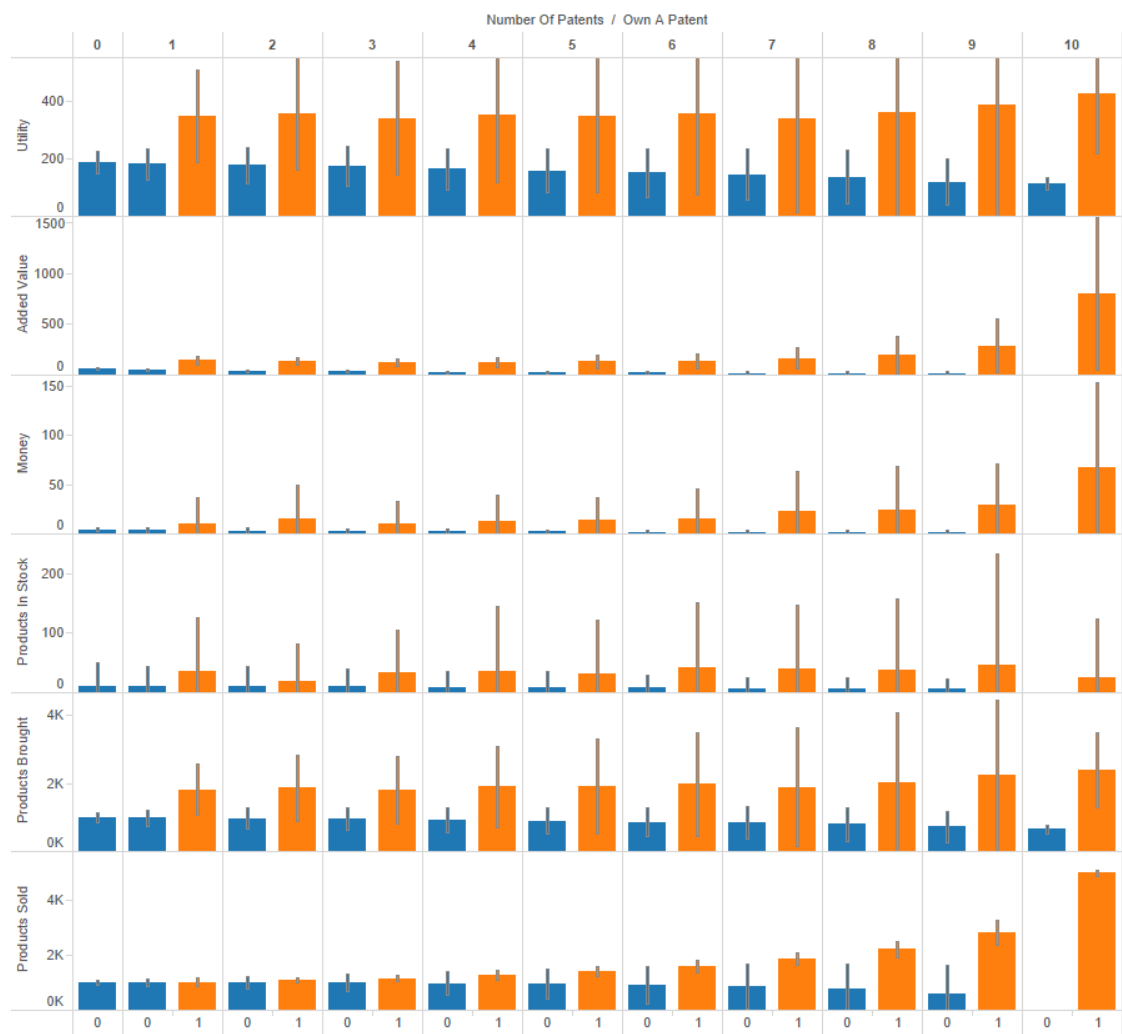


FIGURE 5.9: Agents : Utilité, valeur ajoutée, argent, produits en stock, produits vendus et produits achetés, dépendant du nombre de brevet et séparés entre agents ayant un brevet et ceux n'en ayant pas

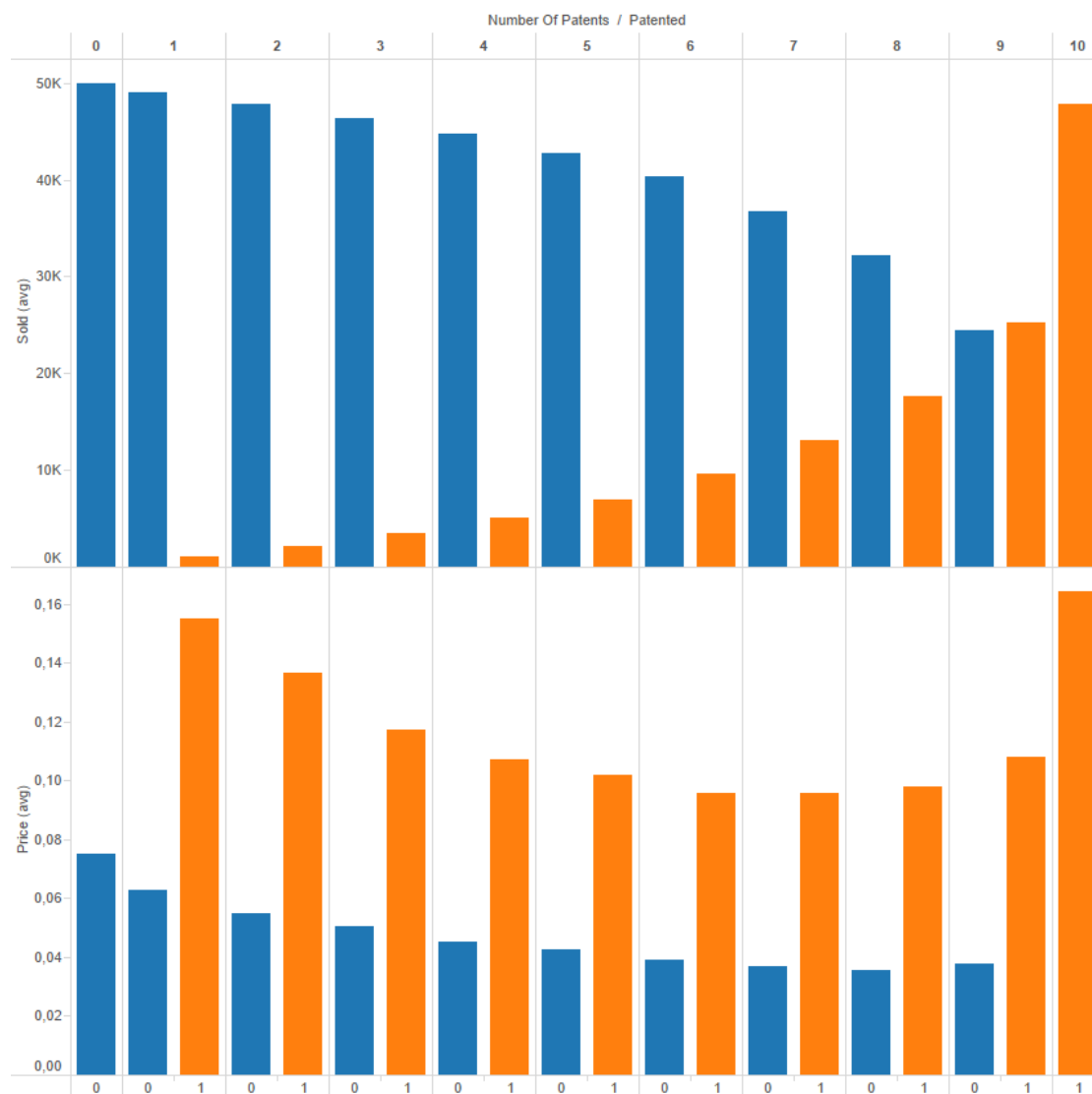


FIGURE 5.10: Produits : volume moyen de vente et prix moyens selon qu'ils soient brevetés ou non

5.5 Utilité marginale décroissante

Dans cette section, les paramètres utilisés sont ceux précisés à la figure 5.11. On peut voir à la figure 5.12 l'évolution des métriques principales en suivant l'évolution du nombre de brevets et à la figure 5.13 l'évolution des nombres moyens de défaillance du marché et d'étapes. De plus, la figure 5.14 présente plusieurs métriques en divisant les agents en deux catégories : ceux possédant un brevet et

ceux n'en possédant pas. Finalement, la figure 5.15 présente les volumes de vente, les prix moyens et les goûts moyens des produits, selon qu'ils sont brevetés ou pas.

5.5.1 Défaillance de marché

De manière générale, on peut voir que la présence de brevets déstabilise grandement les simulations (figure 5.13) et qu'à partir de huit brevets, les simulations arrivent toujours à des défaillances de marché systématiques (à noter qu'il n'y a qu'environ 10% des simulations à sept brevets qui atteignent les 50.000 étapes). Ainsi, **les études faites dans cette section se limiteront à au plus six brevets** afin de pouvoir comparer des simulations ayant tourné sur le même nombre d'étapes.

5.5.2 Utilité

Égalité Comme on peut s'y attendre, plus il y a des brevets plus l'inégalité est importante (figure 5.12). Par contre, ce sont clairement les agents ayant des brevets qui sont les plus malheureux (figure 5.14). Cela est dû au mécanisme d'utilité marginale décroissante en lui-même car celui-ci diminue à chaque consommation le goût associé au produit consommé ce qui, par extension, augmente les goûts pour les autres produits. Comme les monopolisateurs sont les seuls à produire leur produit, ils ne peuvent pas en consommer et comme ils ont de moins en moins de goût pour les autres produits, ils ne remportent que très rarement des enchères.

Efficience On peut voir une diminution assez brusque de l'efficience avec l'apparition de brevets (figure 5.12). Cela est dû à la rapidité des doubles enchères : comme il n'y a qu'un seul vendeur pour un produit donné, l'enchère double n'avance pas très vite et donc les achats se font le plus souvent pour des produits non-brevetés, même si ceux-ci rapportent moins d'utilité. À cette inefficacité se rajoute le malheur des agents ayant des brevets comme cela a été dit au paragraphe précédent. D'ailleurs, on voit l'utilité remonter légèrement grâce à la disparition progressive de produits non-brevetés.

On peut donc voir que l'association du mécanisme de diminution marginale d'utilité avec la notion de monopole crée des agents particulièrement malheureux du fait qu'ils ne peuvent consommer leurs propres produits. Dans cette optique, il pourrait être intéressant d'imaginer un système où des transactions peuvent se produire avec les offres d'achat et de vente venant du même agent ¹.

1. comme discuté en section 5.3.4

5.5.3 Argent

Égalité On voit l'inégalité augmenter de manière assez importante (figure 5.12) et l'argent se concentre particulièrement chez les agents monopolisateurs (figure 5.14), ce qui est dû aux prix excessifs qu'ils pratiquent (figure 5.15). De tels prix arrivent grâce au mécanisme d'utilité marginale décroissante, qui rend pratiquement nécessaires les produits brevetés. On obtient alors des situations avec un seul vendeur et plusieurs acheteurs potentiels avec un haut goût pour le produit.

Efficience On voit que les productions sont de plus en plus efficaces (figure 5.12), contrairement au cas sans utilité marginale décroissante (figure 5.2). Cela est dû au fait que les prix moyens des brevets non-brevetés sont encore plus bas (figure 5.15), au point que les agents n'ayant pas de brevet rechignent à produire, laissant l'opportunité aux monopolisateurs et aux autres agents plus spécialisés.

5.5.4 Valeur ajoutée

Égalité Comme on a pu le voir, les produits brevetés donnent lieu à des prix excessifs (figure 5.15) et il est donc tout naturel que la valeur ajoutée soit bien moins répartie (figure 5.12) et que ce soient les agents monopolisateurs qui la concentrent (figure 5.14).

Efficience Il y a une forte chute de l'efficacité avec l'apparition de brevets (figure 5.12), ce qui est dû au fait que les agents n'ayant pas de brevets finissent par vendre leurs produits à bas prix (figure 5.15) à cause des goûts associés assez faibles. Par la suite, comme le nombre d'agents ayant des brevets augmente et qu'ils sont très efficaces, l'efficacité globale s'en trouve améliorée

Number of products:	fixed ▼	10
Number of agents:	fixed ▼	50
Initial agent's money:	fixed ▼	500
Initial agent's utility:	fixed ▼	0.0
#Initial production:	fixed ▼	10
Maximum possible benefit:	fixed ▼	5.0
#Last transactions to consider:	fixed ▼	1000
Part of random production:	fixed ▼	0.0
Part of randomness of the market:	fixed ▼	0.0
#Productions for specialization:	fixed ▼	100
Diminishing marginal utility ?:	fixed ▼	yes ▼
Influenceability of the agents:	fixed ▼	0.0
Number of patents:	variates ▼	min: 0 max: 10 step: 1

FIGURE 5.11: Paramètres de simulation

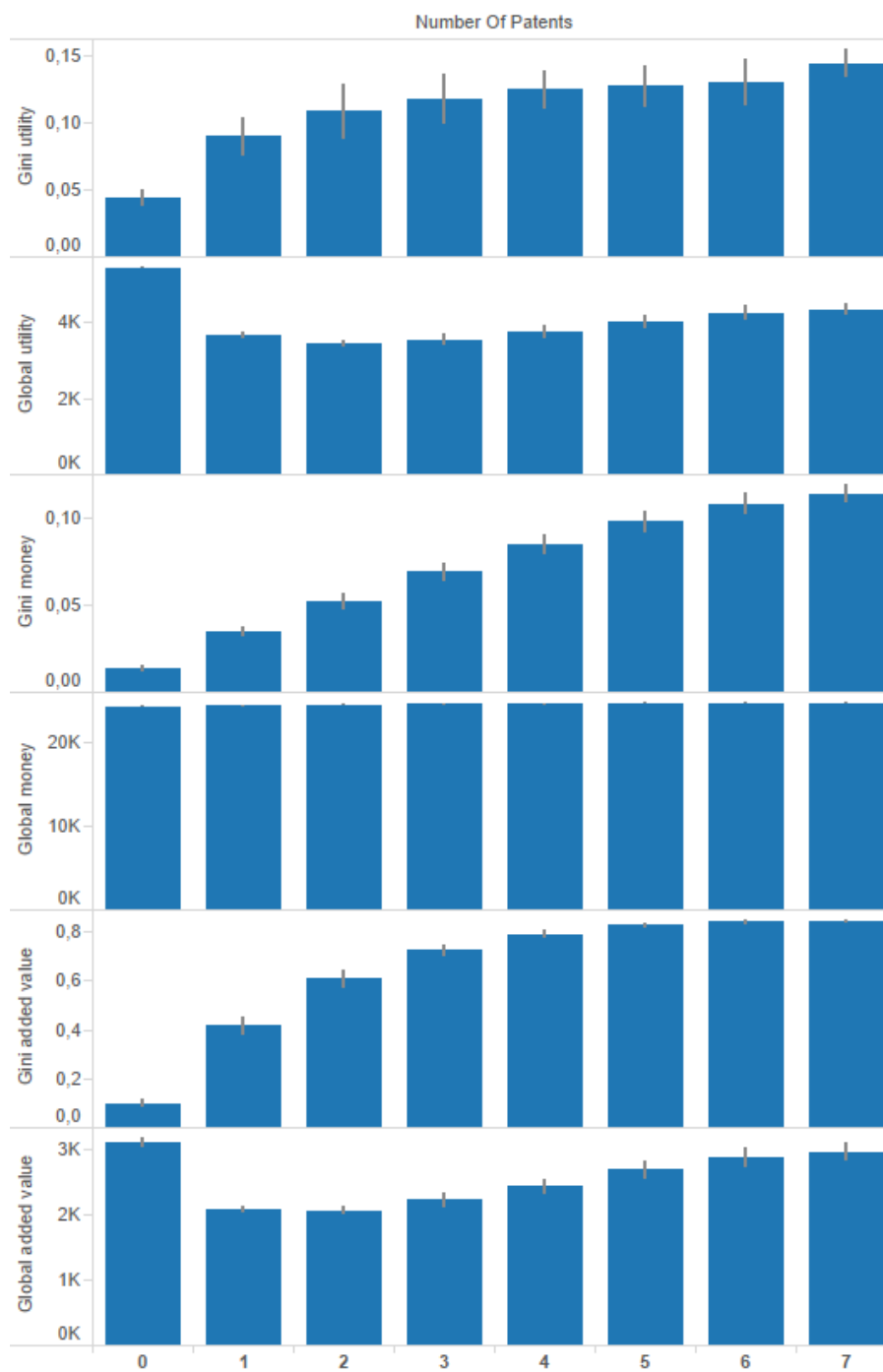


FIGURE 5.12: Valeurs globales et coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction du nombre de brevet

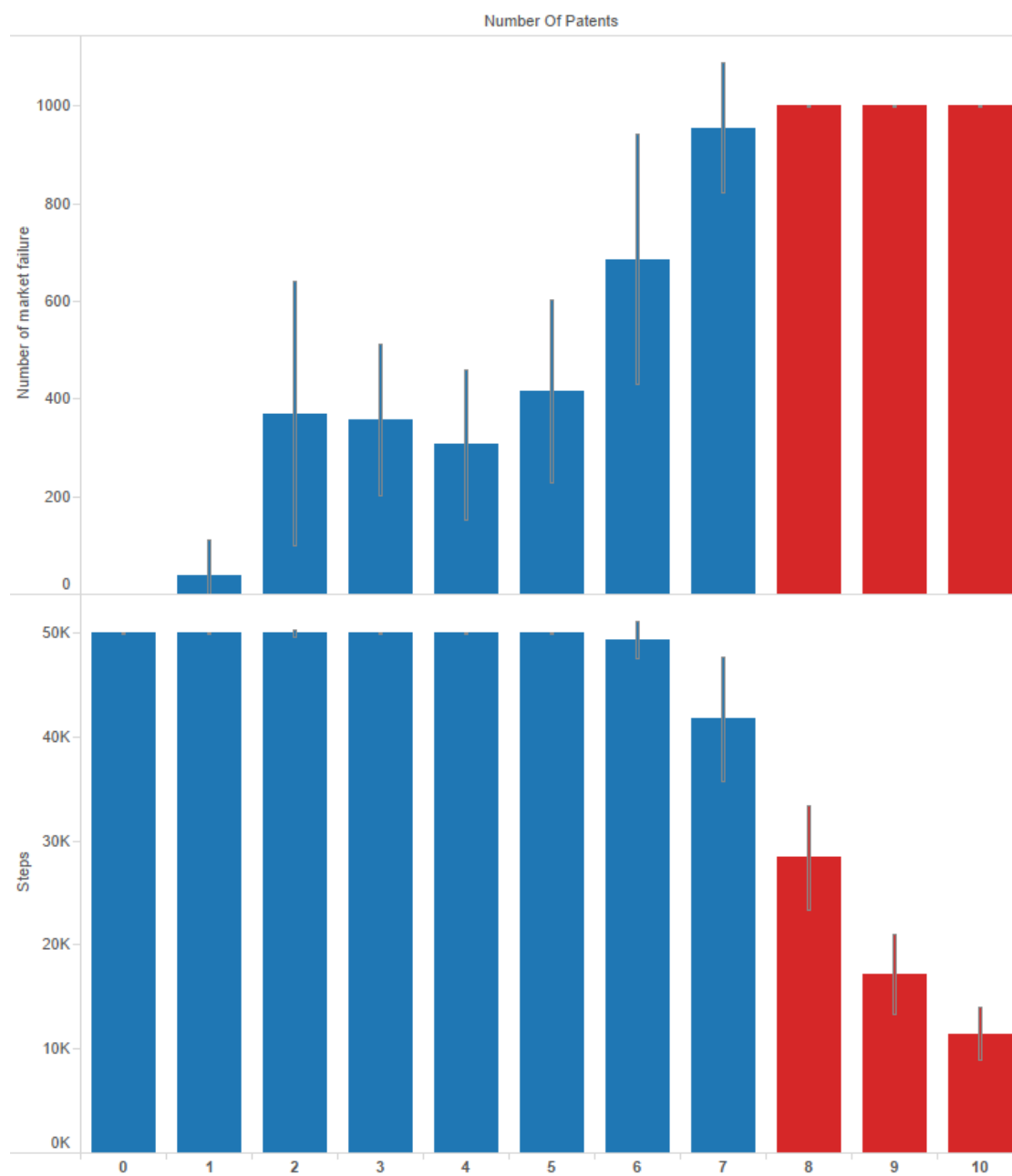


FIGURE 5.13: Nombre de défaillance du marché et nombre d'étapes en fonction du nombre de brevet

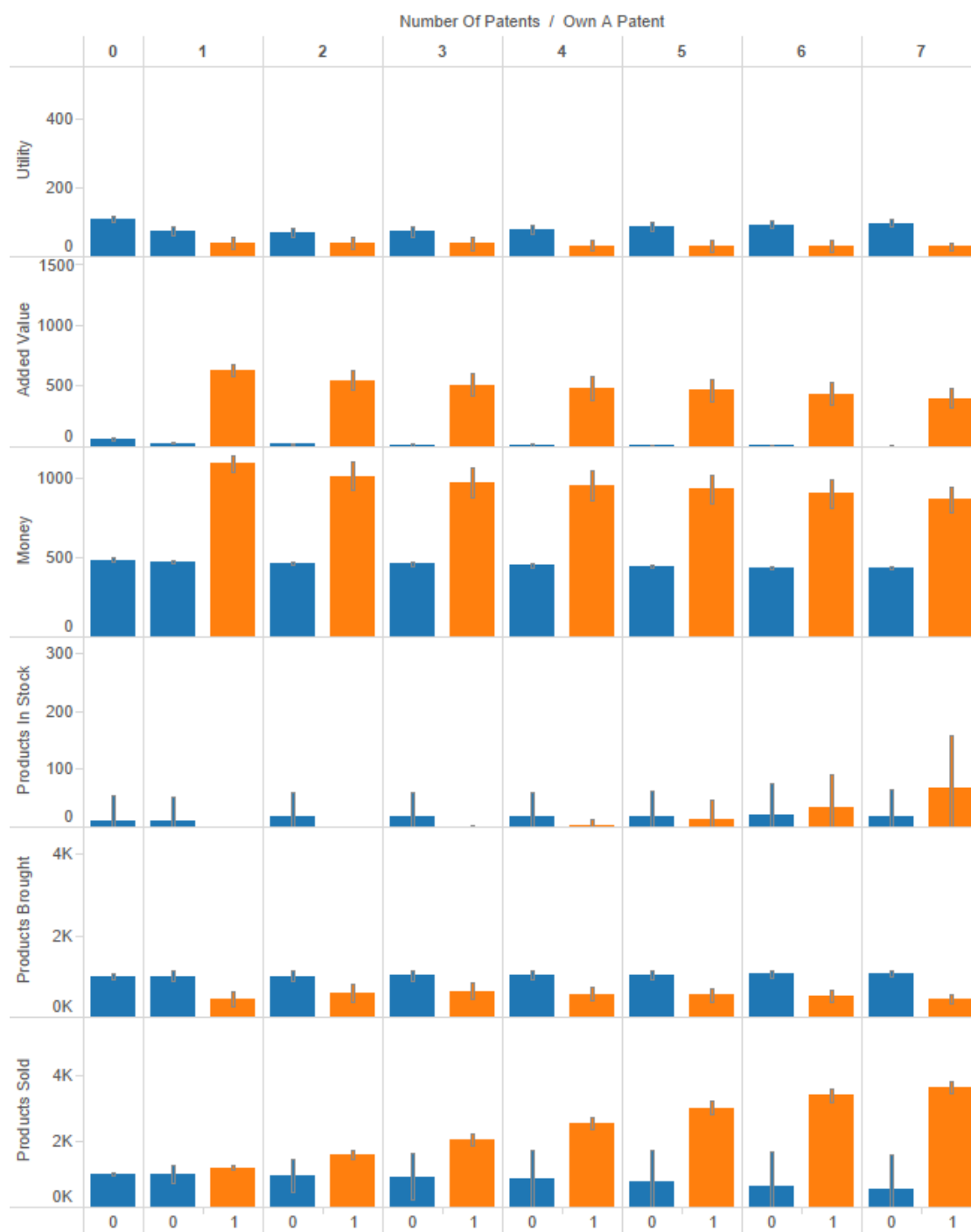


FIGURE 5.14: Agents : Utilité, valeur ajoutée, argent, produits en stock, produits vendus et produits achetés, dépendant du nombre de brevet et séparés entre agents ayant un brevet et ceux n'en ayant pas

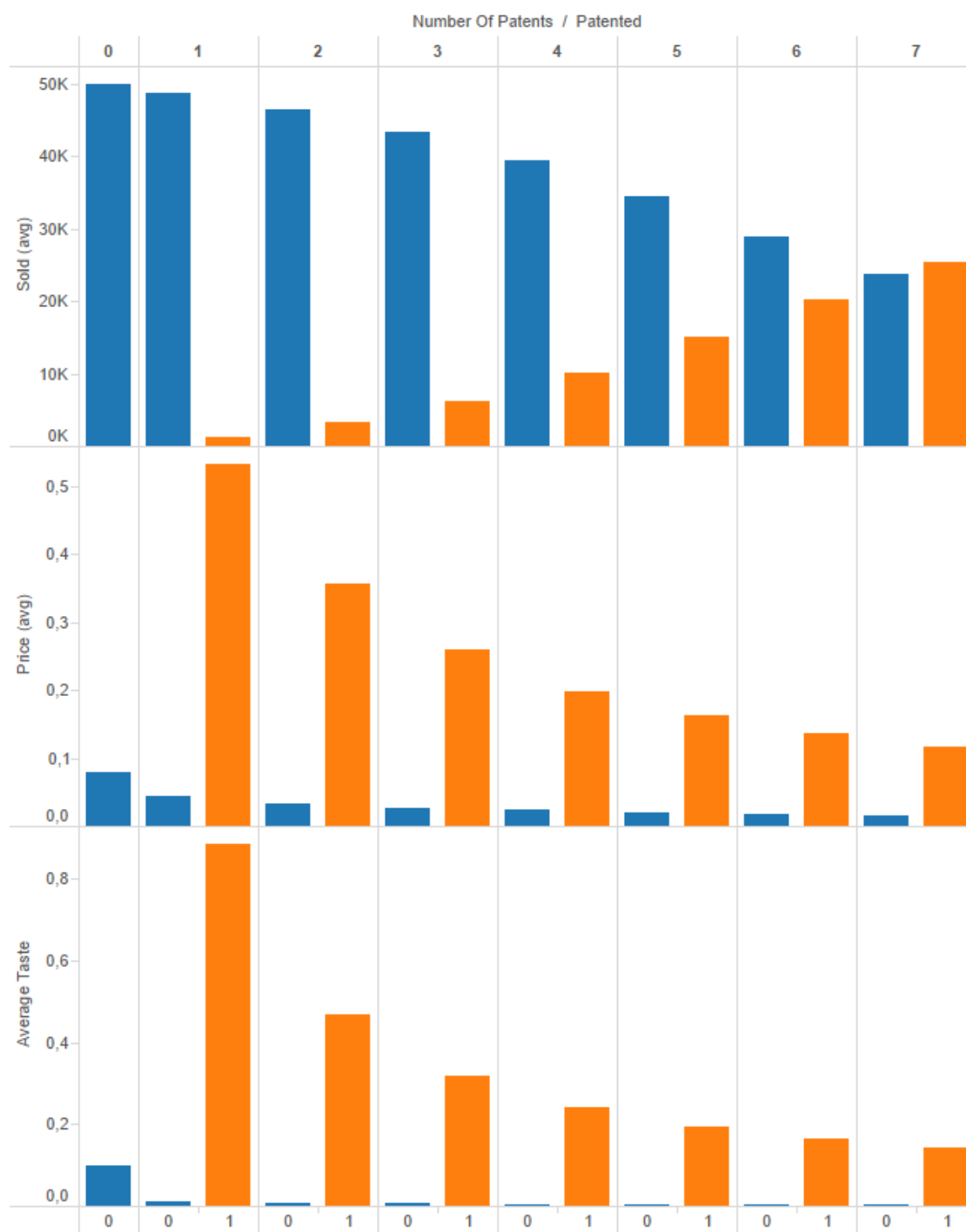


FIGURE 5.15: Produits : volume moyen de vente et prix moyens selon qu'ils soient brevetés ou non

5.6 Conclusions et travaux futurs

On a pu voir que, quelle que soit la situation, la présence de monopole est néfaste, autant du point de vue de l'efficacité que du point de vue de l'égalité. De plus, la présence de monopole a tendance à fragiliser la stabilité des marchés.

De plus, associée au mécanisme d'utilité marginale décroissante, on a pu voir que la présence de monopole rendaient les monopolisateurs très malheureux. Dans cette optique ainsi que dans celle de rendre le marché plus stable, il serait intéressant de laisser l'opportunité aux transactions de s'effectuer même si les agents proposant les offres de vente et d'achat sont les mêmes. Les agents auraient alors la possibilité de consommer leurs propres produits.

Finalement, nous avons remarqué que les agents ayant des brevets avaient du mal à gérer leurs stocks car le mécanisme de choix de produit à produire ne tient compte ni de la fréquence de ventes des produits ni des stocks actuels.

Chapitre 6

Asymétrie d'information

6.1 Définition

En économie, on parle d'asymétrie d'information quand un parti d'une transaction possède plus d'information ou des informations de meilleure qualité que les autres intervenants. Ainsi, cette asymétrie peut être dommageable pour un des participants. Dans les faits, c'est le plus souvent le vendeur qui est mieux informé que l'acheteur, bien que l'inverse est tout à fait envisageable[5].

Un célèbre exemple utilisé pour illustrer le concept d'asymétrie d'information est la vente de voitures d'occasion. En effet, la principale information que possède un potentiel acheteur est le prix de la voiture, qui se veut être un indicateur de sa qualité. Ainsi, une personne malintentionnée pourrait proposer une voiture en piètre état à un prix plus élevé que sa valeur pour donner une impression de bonne qualité. Ainsi, c'est l'acheteur, ayant moins d'information que le vendeur, qui peut se retrouver avec un produit qui n'est pas conforme à ses attentes. Il est à noter que l'inverse est tout aussi envisageable : un vendeur voulant se débarrasser au plus vite d'une vieille voiture prenant trop de place pourrait être tenté de la proposer à un prix en dessous de sa valeur. Malheureusement, ce bas prix donnerait l'impression d'une mauvaise qualité et pourrait repousser les potentiels acheteurs, c'est alors le vendeur qui se trouve en position d'infortune alors qu'il possède le plus d'information.

6.2 Modèle

Lors de la création d'une transaction, les acheteurs et vendeurs potentiels possèdent différentes informations :

- Acheteurs : ils ont à leur disposition les actuelles meilleures offres d'achat et les goûts qu'ils ont pour chaque type de produit, permettant de calculer les prix de réserve de chaque produit (équation 2.5).
- Vendeurs : ils ont accès aux actuelles meilleures offres de vente et aux coûts de production de leurs produits.

Ainsi, pour introduire une asymétrie, une solution serait de diminuer la qualité ou la quantité d'information disponible pour un des deux partis. Une autre approche serait d'introduire un nouveau concept dans le modèle et de ne pas distribuer l'information uniformément. C'est dans cette optique que la notion de qualité des produits a été introduite :

- Au début de la simulation, **LC** agents sont choisis au hasard et sont désignés pour produire des produits de mauvaise qualité.
- Cette qualité est définie par **LCQ** $\in]0, 1[$ et atteint plusieurs points du modèle :
 - Les coûts de production des produits des agents concernés sont alors $c_p^{LC} = skills_p \cdot \mathbf{LCQ}$
 - Lors de la consommation des produits, l'utilité générée devient $u = tastes_p \cdot \mathbf{LCQ}$

On a donc bien une asymétrie d'information, les acheteurs n'ayant absolument aucun indice sur la qualité des produits qu'ils achètent. Les études de ce chapitre, à l'instar des précédents, vont être divisées en deux sections, une pour les budgets non-restreints (argent initial à 500) et une pour les budgets restreints (argent initial à 15). Les paramètres des simulations effectuées peuvent être retrouvés à la figure 6.1.

Number of products:	fixed ▼	10
Number of agents:	fixed ▼	50
Initial agent's money:	variates ▼	min: 15 max: 500.0 step: 485
Initial agent's utility:	fixed ▼	0.0
#Initial production:	fixed ▼	10
Maximum possible benefit:	fixed ▼	5.0
#Last transactions to consider:	fixed ▼	1000
Part of random production:	fixed ▼	0.0
Part of randomness of the market:	fixed ▼	0.0
#Productions for specialization:	fixed ▼	100
Diminishing marginal utility ?:	fixed ▼	no ▼
Influenceability of the agents:	fixed ▼	0.0
Number of patents:	fixed ▼	0
Number of lowcost agents:	variates ▼	min: 0 max: 50 step: 5
Lowcost quality:	variates ▼	min: 0.1 max: 0.9 step: 0.4

FIGURE 6.1: Paramètres des simulations

6.3 Budget non restreint

On peut voir à la figure 6.2 l'évolution des principales métriques selon le nombre d'agents *low cost* et la qualité des produits qu'ils produisent. Il est à noter qu'aucun graphique ne présentant l'évolution des défaillances de marché n'est présenté car aucune simulation n'en a présenté. La présence des agents *low cost* n'a donc pas d'impact sur la stabilité du marché dans cette situation. De plus, contrairement à ce qui a été présenté dans les autres chapitres, les écarts-types ne sont pas présentés sur la figure 6.2 afin que celle-ci reste lisible. Les écarts-types relatifs correspondants peuvent être consultés à la figure C.1. Enfin, la figure 6.3 reprend l'évolution de l'utilité, de la valeur ajoutée et de l'argent des agents, selon qu'ils

soient *low cost* ou pas et ce en fonction des paramètres de qualité et du nombre d'agents *low cost*.

6.3.1 Utilité

Efficienc On voit une proportionnalité très marquée entre la perte d'efficienc et le nombre d'agents *low cost* et leurs qualités de production. Ce résultat n'a rien d'étonnant puisque les acheteurs ne font pas de choix réfléchis sur la qualité, l'efficienc est alors amenée à décroître avec la qualité des produits diminuant et le nombre d'agents *low cost* augmentant.

Égalité à qualité élevée Pour des valeurs de qualité suffisamment grandes, l'égalité varie assez peu. On peut d'ailleurs voir (figure 6.3) que les agents *low cost* ne sont pas particulièrement avantagés par rapport aux autres.

Égalité à basse qualité On voit pour une valeur de qualité à 0,1 que l'inégalité augmente grandement avec le nombre d'agents *low cost*. Pourtant, ceux-ci ne semblent pas être plus favorisés (figure 6.3). On se retrouve dans une situation où les agents à haut goût maximal sont encore plus favorisés (voir annexe A). En effet, comme ce sont les acheteurs de la plupart des transactions concernant leur produit préféré, ils ont plus de chance de tomber sur un produit de qualité normale comparativement aux autres agents. De plus, on voit qu'une fois que tous les agents sont *low cost*, l'inégalité rechute à une valeur normale puisque tous les produits en circulation sont de mauvaise qualité, nous n'avons donc plus d'asymétrie.

6.3.2 Argent

Efficienc Les coûts de production allant décroissant avec la qualité, il est logique que les producteurs *low cost* soient de plus en plus efficaces, et par ce fait ils augmentent l'efficienc globale.

Égalité Contrairement à l'intuition, l'argent n'est pas moins bien réparti et les agents *low cost* ne sont pas bien mieux lotis que les autres (figure 6.3). En fait, les agents *low cost* ne font pas vraiment plus de ventes que les autres puisque le mécanisme de double enchère est suffisamment rapide, et la seule différence de coûts de production ne fait pas beaucoup d'effet sur le long terme, les agents devenant très spécialisés (atteignant des valeurs de talent allant entre 0,01 et 0,02 pour les produits pour lesquels ils sont les plus spécialisés).

6.3.3 Valeur ajoutée

Efficiency Comme on peut s’y attendre, l’efficacité tend à s’améliorer, les agents *low cost* étant légèrement plus efficaces que leurs comparses (figure 6.3).

Égalité Comme dit au paragraphe précédent, les agents *low cost* ont tendances à être les plus efficaces. Pourtant, on voit que la valeur ajoutée est encore mieux répartie qu’avant. Cela est dû au fait que tous les agents *low cost* sont très comparables en terme de valeur ajoutée, surtout pour de faible valeur de qualité, comme en témoignent les écarts-types. Ainsi, plus il y a d’agents *low cost*, mieux la valeur ajoutée est répartie. De plus, cet écart-type est d’autant plus petit que la qualité est médiocre.

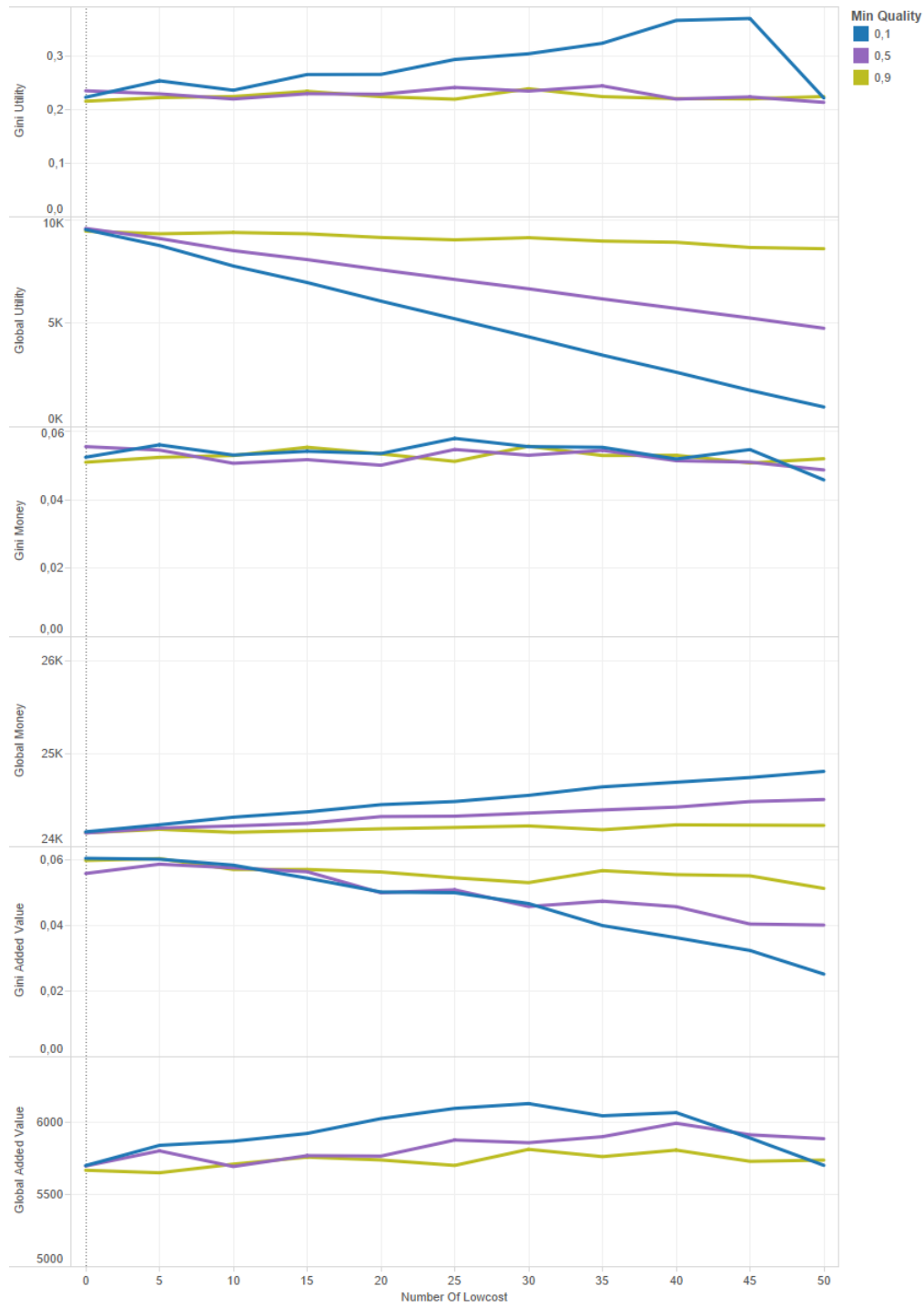


FIGURE 6.2: Évolution des valeurs globales et des coefficients de Gini de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée en fonction de la qualité des produits *low cost* et du nombre d'agents *low cost*

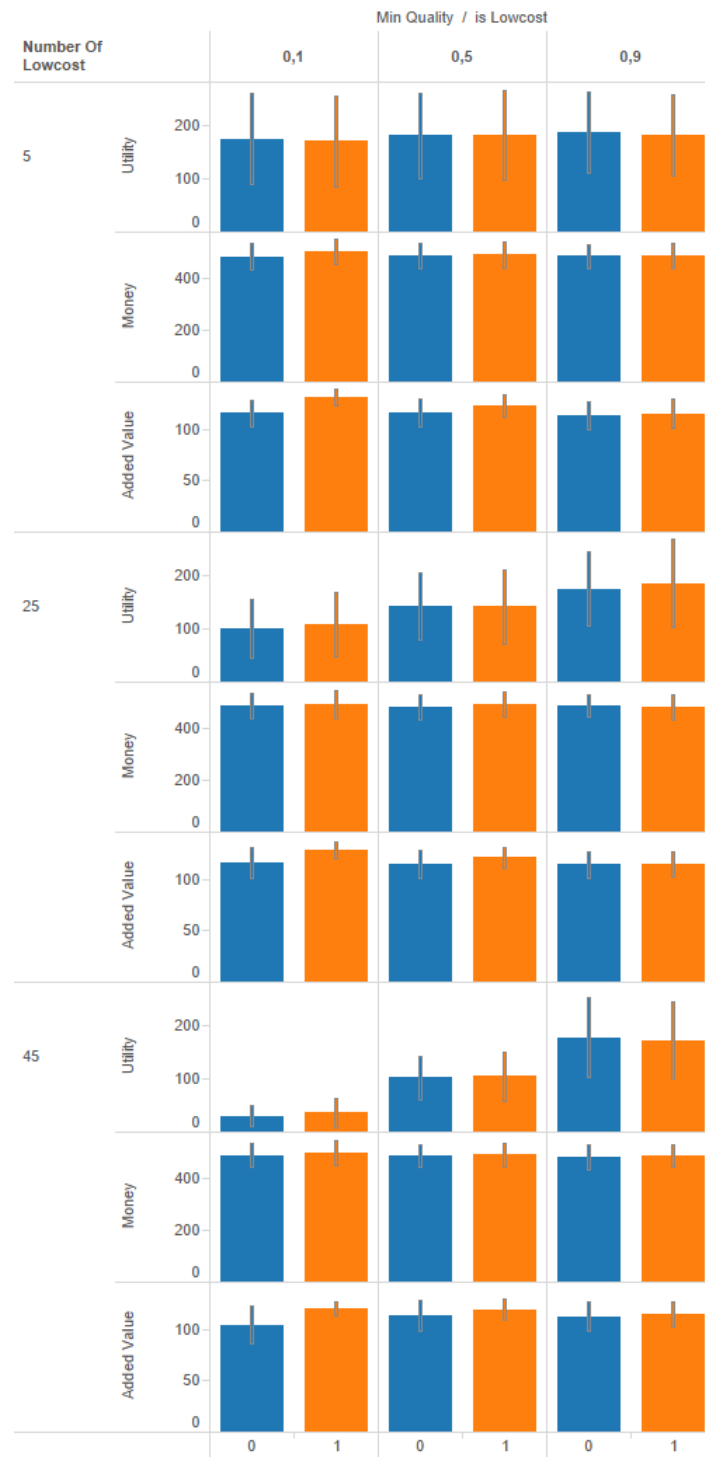


FIGURE 6.3: Évolution des valeurs de l'utilité, de l'argent et de la valeur ajoutée des agents, selon qu'ils soient *low cost* ou pas, en fonction de la qualité des produits *low cost* et du nombre d'agents *low cost*

6.4 Budget restreint

Dans le cas de budget restreint, les comportements des différentes métriques sont en tout point similaires au cas sans restriction, à l'exception des défaillances de marché (figure 6.4). En effet, les réductions des coûts de production permettent une dissipation moins importante de l'argent dans la simulation, rendant donc le marché plus stable.

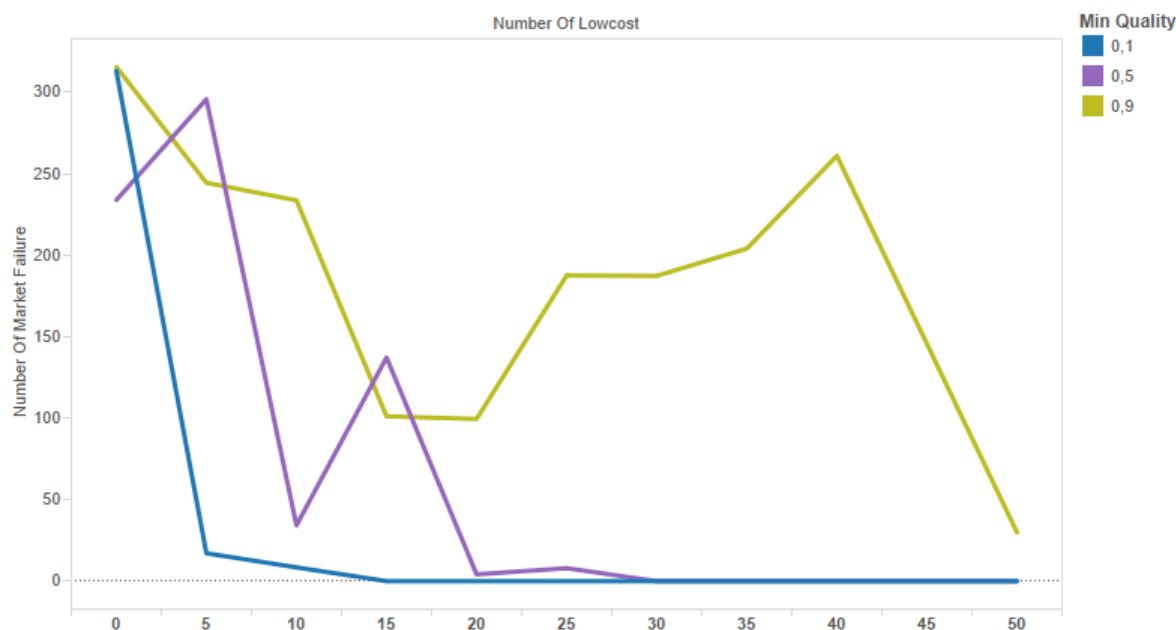


FIGURE 6.4: Évolution des défaillances de marché

6.5 Conclusion et travaux futurs

Nous avons pu noter plusieurs variations des différentes métriques suivant l'évolution des nouveaux paramètres ajoutés au modèle. Il est cependant important de dissocier les effets de la nouvelle mécanique apportée (l'apparition des producteurs *low cost*) des effets de l'asymétrie d'information en elle-même.

Premièrement, nous avons le Gini argent, l'argent global et l'utilité globale qui dépendent intrinsèquement du mécanisme en lui-même puisqu'il diminue les coûts de production et l'utilité générée. Il en va de même pour le Gini et la valeur globale de la valeur ajoutée.

Deuxièmement, nous avons pu voir, dans le cas à 0,1 de qualité, une augmentation importante de l'inégalité d'un point de vue utilitariste. Nous avons vu que les agents à haut goût maximal étaient encore plus favorisés, ce qui est en soi intéressant à remarquer : ce ne sont pas les agents les mieux informés (les agents *low cost*) qui profitent de l'asymétrie. En fait, ce sont ceux qui ont le moins besoin de cette information (la qualité) qui profite de l'asymétrie de celle-ci.

Finalement, il pourrait être intéressant d'implémenter l'asymétrie d'information sur d'autres informations véhiculées dans le modèle, afin de mieux mettre en évidence ses effets. Une autre solution serait d'apporter l'information de la qualité aux acheteurs pour comparer les simulations où les acheteurs sont bien renseignés et ceux où ils ne le sont pas.

Chapitre 7

Conclusions

La première partie de ce travail consistait en la création d'un module statistique. Celui-ci a été pensé pour faciliter les études sur le modèle. De plus, son implémentation a été faite en gardant en tête une certaine facilité de modification ce qui fait que l'ajout de nouveaux paramètres au modèle est assez simple à implémenter. Différentes améliorations pourraient le rendre plus agréable d'utilisation, comme l'ajout de nouvelles solutions de sauvegarde des données, une uniformisation visuelle avec le reste de l'application ainsi que l'apport d'une autre méthode pour faire varier les paramètres. En effet, il n'est actuellement possible que de définir un minimum, un maximum et des étapes de variation. Il serait intéressant que l'utilisateur puisse simplement proposer une liste de valeurs voulues.

La seconde partie consistait en l'étude du mimétisme comportemental sur le modèle. Nous avons pu voir que ses effets sur le modèle sont assez mitigés : on ne gagne que très peu en égalité utilitariste et l'efficacité utilitariste se trouve réduit considérablement. De plus, le marché se retrouve moins stable en présence de mimétisme et cela s'avère même problématique dans les cas à budget restreint.

La troisième partie du mémoire avait pour sujet l'étude des monopoles sur le modèle. Comme l'intuition peut le suggérer, la présence de monopole est néfaste pour les simulations. En effet, de tous les points de vue, l'efficacité et l'égalité diminuent et la stabilité des simulations est aussi atteinte. On a aussi pu voir que les agents monopolistiques étaient particulièrement "malheureux" avec la présence du mécanisme d'utilité marginale décroissante. De plus, les monopolisateurs semblent gérer assez mal leurs stocks.

La quatrième partie avait pour but d'étudier les effets de l'asymétrie d'information sur le modèle. Nous avons pu étonnamment voir que ce n'étaient pas les agents ayant le plus d'information qui profitaient de l'asymétrie mais c'étaient ceux ayant le moins besoin de l'information qui en profitaient le plus. Malheureusement, la manière dont l'asymétrie a été implémentée rendait difficile de mettre en évidence les effets de l'asymétrie à elle seule. Il serait donc intéressant de pousser un peu plus dans cette voie.

Finalement, plusieurs modifications ont été suggérées au cours ce travail pour diverses raisons :

- Donner la possibilité aux agents de faire plusieurs offres d'achat et/ou de vente à la fois (section 4.5.1).
- Repenser la structure de l'espace des agents pour créer des groupes indépendant les uns des autres en terme de goûts (section 4.7).
- Donner l'opportunité aux transactions de se faire même si les offres d'achat et de vente viennent du même agent (section 5.3.4 et 5.5.2).
- Donner des informations aux producteurs pour qu'ils gèrent leurs stocks plus efficacement (sections 5.3.5).

En plus de ces suggestions, il en reste plusieurs dans le travail de N. Bernier[2] qui peuvent valoir la peine d'être investiguer.

Chapitre 8

Bibliographie

- [1] Jeremy Bentham. *An introduction to the principles of morals and legislation*. 1876.
- [2] Nicolas Bernier. Comparison between a competitive and a redistributive market economy using computer simulation. Master's thesis, Université Libre de Bruxelles, 2014.
- [3] Hugues Bersini and Nicolas van Zeebroeck. Why should the economy be competitive? In Sjoukje Osinga, Gert J. Hofstede, and Tim Verwaart, editors, *Emergent Results of Artificial Economics*, volume 652 of *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, chapter 10, pages 117–128. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [4] Scott R. Garrels. Imitation, mirror neurons, and mimetic desire : Convergence between the mimetic theory of rené girard and empirical research on imitation. *Contagion : Journal of Violence, Mimesis, and Culture*, 12/13 :47–86, 2006.
- [5] Investopedia. Asymmetric information. <http://www.investopedia.com/terms/a/asymmetricinformation.asp>, May 2015.
- [6] Raphaël Jehotte. Agent-based modeling approach to equality and efficiency. Master's thesis, Université Libre de Bruxelles, 2012.
- [7] Larousse. Définition de monopole. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/monopole/52393>, May 2015.

Annexe A

Marché concurrentiel - répartition utilité/argent

Dans un marché purement concurrentiel ($\mathbf{MR} = 0$), sans les ajouts mentionnés dans les chapitres 4 , 5 et 6 et sans utilité marginale décroissante, l'inégalité utilitaire est assez forte (Gini= 0,23 voir figure 3.3) mais qui concentre l'utilité? (les figures qui vont être présentées dans cette section sont le fruit de cent simulations ayant pour paramètres ceux précisés à la figure 4.1)

Comme on peut le voir sur la figure A.1, il y a une forte corrélation entre le goût maximal des agents et l'utilité qu'ils possèdent. De plus, en regardant la figure A.2, on voit une forte corrélation inverse entre l'utilité des agents et leur argent. On peut donc conclure qu'il y a deux classes d'agents : les consommateurs et les producteurs. Ce résultat est peu étonnant au regard de la manière dont l'acheteur compétitif se comporte. En effet, le prix de réserve qu'il calcule pour chaque produit dépend directement du goût qui lui est associé (voir équation 2.5), il est alors attendu qu'un agent ayant beaucoup de goût pour un produit, en comparaison des autres agents, remporte plus facilement une enchère mais à prix plus élevé, d'où la corrélation inverse entre utilité et argent. Ainsi, la classe des producteurs est une conséquence de la classe des "consommateurs" car ils récoltent tout ce que les consommateurs sont prêts à dépenser.

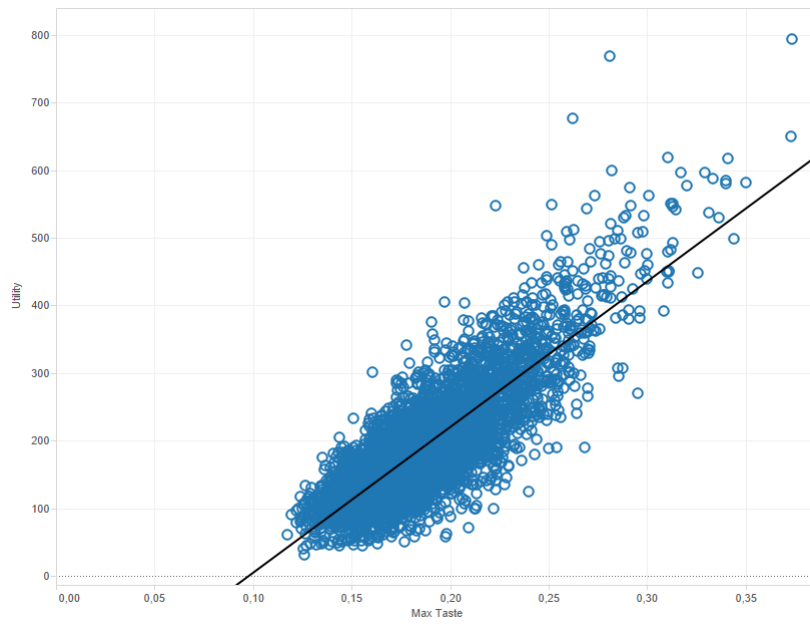


FIGURE A.1: Utilité des agents en fonction de leur goût maximal - $r = 0,82$ et $p\text{-value} < 0,0001$

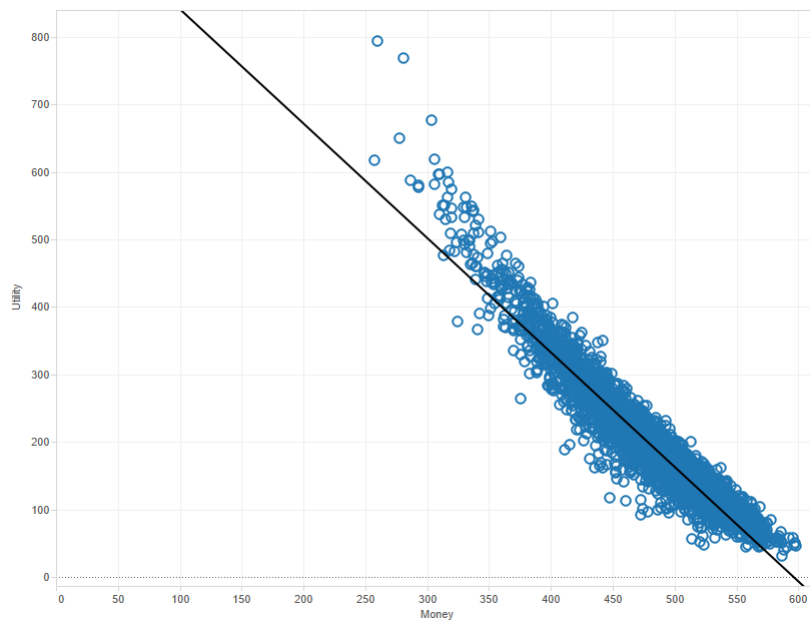


FIGURE A.2: Utilité des agents en fonction de leur argent - $r = -0,95$ et $p\text{-value} < 0,0001$

Annexe B

Mimétisme comportemental - figures additionnelles pour budget restreint

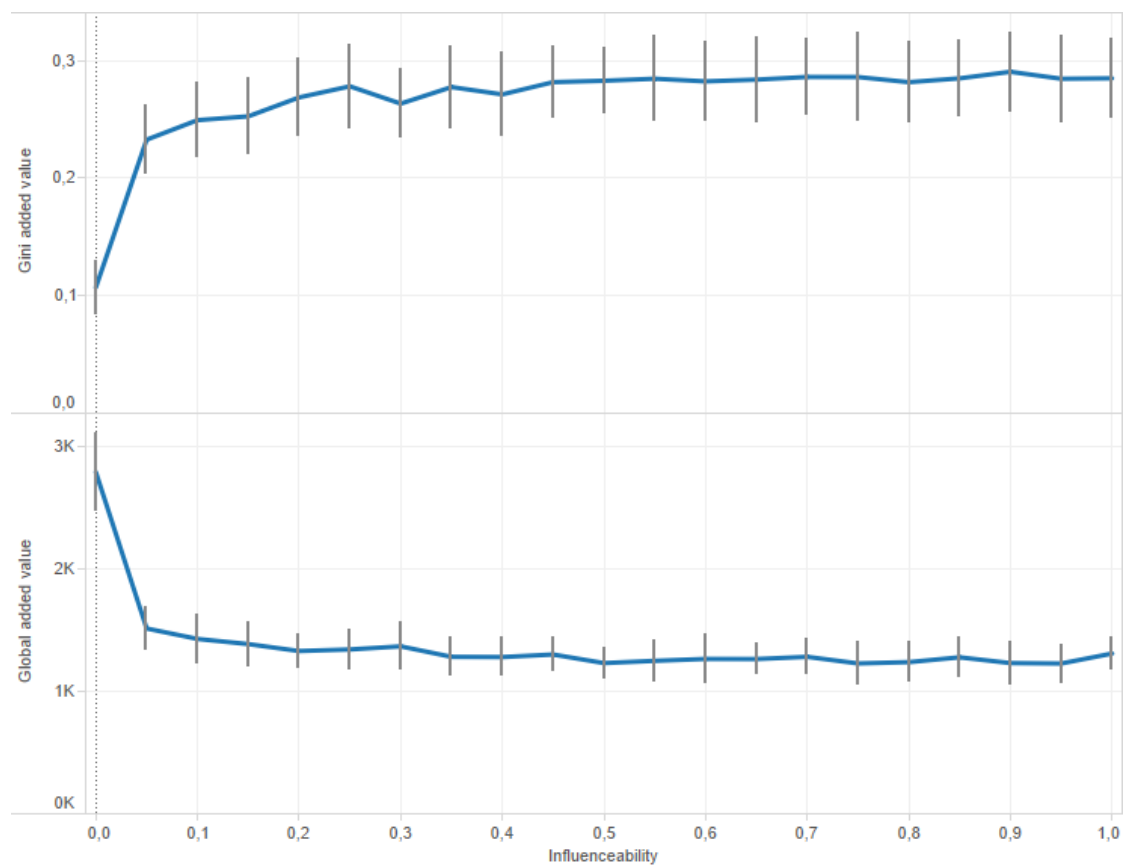


FIGURE B.1: Valeur ajoutée en fonction de l'influçabilité

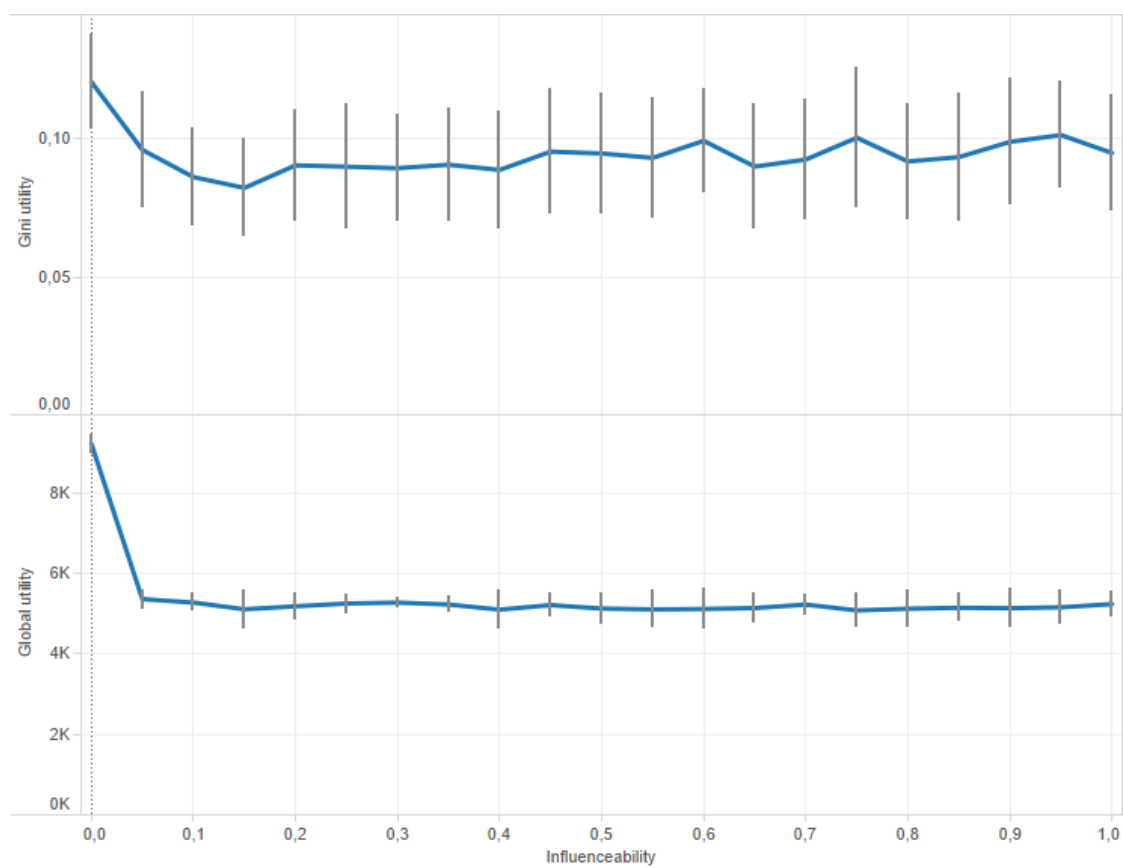


FIGURE B.2: Utilité en fonction de l'influencabilité

Annexe C

Asymétrie d'information - figure additionnelle

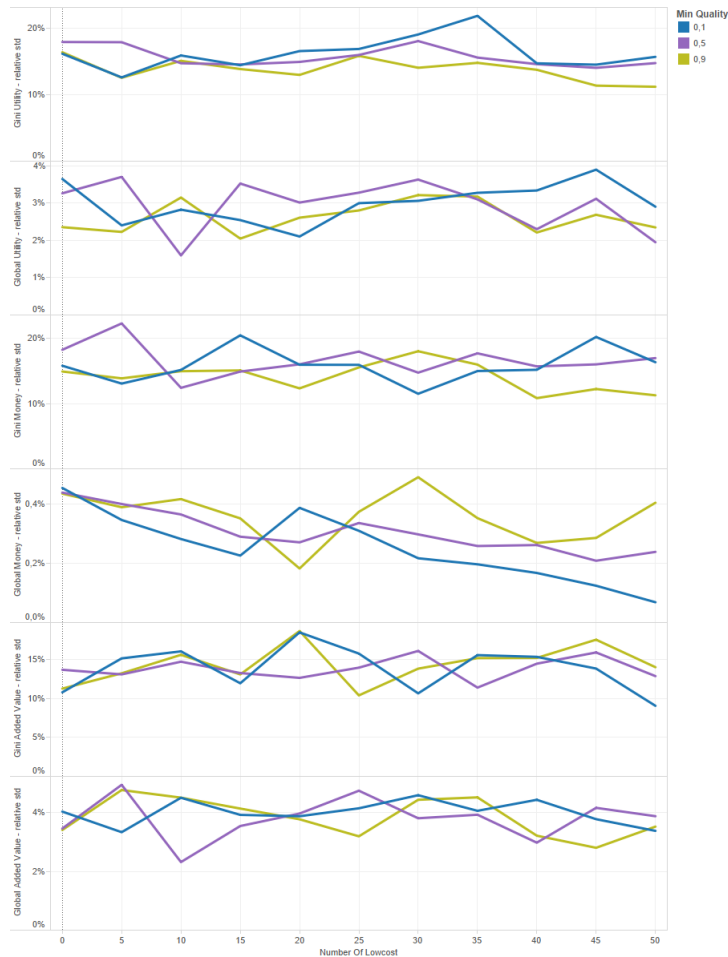


FIGURE C.1: Écart-types relatifs des principales métriques