

Prévision de prix et coordination par les croyances :
une étude expérimentale

mai 2003

Angela Sutan^{a*}, Marc Willinger^b

^a BETA-Theme, Université Louis Pasteur, Strasbourg

^b LAMETA, Université Montpellier 1, Montpellier

* corresponding author: BETA-Theme, bureau 154, PEGE, 61, avenue de la Forêt Noire, 67000 Strasbourg, France, tél. 03.90.24.20.92, fax. 03.90.24.20.71 sutan@cournot.u-strasbg.fr

Abstract. L'hypothèse d'anticipations rationnelles (AR) a étendu l'hypothèse de comportement rationnel à la formation des croyances (Muth, 1961). Il en découle que les agents font des prévisions *correctes* parce que cela est dans leur propre intérêt. De nombreuses expériences (Van Huyck, 1990), ont montré la difficulté pour les agents de coordonner leurs décisions dans des environnements stratégiques très simples. Les défauts de coordination des actions peuvent être révélateurs de l'absence de coordination préalable par les croyances. Ce papier présente les résultats d'expériences sur la formation et la coordination des croyances dans le marché dynamique le plus simple, le "cobweb". L'hypothèse d'AR suppose que, pour former leurs croyances, les agents utilisent toute l'information disponible et ont une connaissance parfaite des équations d'équilibre du marché. L'équilibre dans le cadre du *marché linéaire* du modèle cobweb (Guesnerie, 1992) résulte d'un raisonnement *eductif*, c'est-à-dire l'élimination itérée des stratégies dominées (le tâtonnement du cobweb en temps notionnel). Les expériences sont fondées sur un marché linéaire non-perturbé où les sujets doivent prendre deux types de décisions : une décision de production, qui détermine le prix de vente et le gain de la production, et une prévision de prix, qui détermine la gain de la prévision. Nous essayons de répondre à deux questions principales: est-ce que la convergence vers l'équilibre d'AR se réalise dans les mêmes conditions que celles définies par la théorie, c'est-à-dire, est-elle sensible aux pentes relatives des fonctions d'offre et de demande agrégées du marché? Est-ce que la révélation explicite des prévisions est un élément de coordination et d'amélioration de la convergence? Nous avons réalisé trois traitements à partir du modèle cobweb : un cas de "convergence rapide" (le traitement *fast*), un cas de "convergence lente" (le traitement *slow*) et un cas de "divergence".

Avec une information quasi-complète des conditions du marché, les sujets sont capables d'approcher l'équilibre dans tous les traitements. Mais les décisions de production et les anticipations de prix sont faiblement corrélées. Les sujets semblent attacher plus d'importance à la prévision de prix qu'à la décision de production. Les décisions de production sont assez volatiles, mais une convergence reste visible. La performance des gains de production dans le cas divergent pourrait être due au succès de la coordination des croyances. Les décisions des sujets révèlent une forte asymétrie des profils individuels. Les "vitesses de convergence" du prix de vente entre les différents groupes ne sont pas homogènes. Les sujets se coordonnent entre eux pour les anticipations des prix et dévient dans le même sens par rapport à la théorie. Il n'y a pas sur le marché une structure des prix facilement exploitable par les joueurs. Avec la répétition du marché, les gains moyens de production et de prévision augmentent, alors que les différences entre les joueurs diminuent. Les croyances semblent jouer un rôle déterminant pour la coordination. Nous concluons donc que la convergence se réalise dès lors que la condition théorique est remplie. Dans le cas divergent, cette convergence se réalise par la coordination des croyances.

Mots-clé: prévisions de prix, croyances, coordination, modèle cobweb

Classification JEL: B41, D41, C92, D84, E30

1.Introduction

L'hypothèse d'anticipations rationnelles a étendu l'hypothèse de comportement rationnel à la formation des croyances (Muth, 1961). Il en découle que les agents font des prévisions *correctes* parce que cela est dans leur propre intérêt. En même temps, elle prédit que tous les agents font les mêmes anticipations à l'équilibre. Cependant, l'effort d'optimisation des agents individuels isolés n'aboutit pas nécessairement à la coordination parfaite des anticipations, puisque, pour fournir des anticipations *correctes*, les agents devraient prendre en compte la possibilité de *mauvaises* anticipations de la part des autres. Deux principes fondamentaux doivent donc tenir afin d'obtenir des solutions d'AR : la rationalité individuelle bayésienne et la connaissance commune de cette rationalité. Ceci implique une corrélation forte entre les décisions des agents et leurs anticipations. Empiriquement, cela suppose une capacité des agents à apprendre à coordonner entre eux leurs croyances. De nombreuses expériences (Van Huyck, 1990), ont montré la difficulté pour les sujets à coordonner leurs décisions dans des environnements stratégiques très simples. Il paraît donc peu probable qu'ils aient plus de facilité à coordonner leurs croyances. Les défauts de coordination des actions peuvent d'ailleurs être révélateurs de l'absence de coordination préalable par les croyances.

Ce papier présente les résultats préliminaires des nos expériences réalisées afin de tester la formation des croyances et l'apprentissage dans un marché dynamique. Ces expériences ont été conduites dans le modèle dynamique de marché le plus simple, le cobweb. Le modèle cobweb décrit les variations du prix dans un marché de biens périssables, qui doivent être produits une période avant la mise en vente. Les producteurs de ces biens doivent donc anticiper le prix auquel ils pourront vendre leur production une période avant la production et la mise en vente de cette production. Le prix de vente est déterminé ex post par la demande en fonction de la quantité produite.

L'hypothèse d'AR (HAR) suppose que, pour former leurs croyances, les agents utilisent toute l'information disponible et ont une connaissance parfaite des équations d'équilibre du marché. Deux justifications de l'HAR sont généralement mises en avant : l'une évolutive, basée sur la répétition et sur les possibilités d'apprentissage offertes par la répétition; l'autre *eductive*, basée sur l'activité mentale de compréhension de la logique de la situation ("forecasting the forecasts of others ", Binmore, 1987).

L'équilibre dans le cadre du *marché linéaire* du modèle cobweb (Guesnerie, 1992) résulte d'un raisonnement *eductif*, c'est-à-dire l'élimination itérée des stratégies dominées (le tâtonnement du cobweb en temps notionnel). Nous rappelons les principales hypothèses de ce marché (avec les notations habituelles).

Dans ce marché, chaque producteur est *petit* par rapport à la taille du marché. Les producteurs sont identiques et sont caractérisés par des fonctions de coût marginal et de demande linéaires. Avec les notations habituelles, chaque producteur a une fonction de coût $C(q) = q^2/2c + dq$ (donc une fonction de coût marginal égale à $C_m(q) = q/c + d$). L'EAR se réalise lorsque le prix p est égal au coût marginal. Avec un nombre fini n de producteurs, l'offre agrégée est $S(p) = ncp - ncd = Cp - Cd$, avec $C = nc$. La fonction de demande du marché est $D(p) = A - Bp$ si $A - Bp > 0$, et 0 sinon, avec $A, B > 0$. En début de période les producteurs décident du volume de leur production et en fin de période la production est intégralement vendue sur le marché. Nous rappelons que l'équilibre dans ce modèle se réalise dès lors que la condition $B > C$ est remplie.

Le raisonnement *eductif* est transcrit pour le modèle cobweb et décrit dans la figure 1. Il fait état de la convergence vers l'équilibre, plus ou moins rapide selon la spécification des fonctions d'offre et demande agrégées.

- (i) au temps notionnel $t = 0$, chaque agent sait que le prix d'équilibre maximum qui pourrait être atteint est égal à $p_0 = A/B$ (puisque'il n'y a pas de demande pour des prix supérieurs) ; dans ces conditions, la production totale ne va pas dépasser q_0 (voir fig.1) et donc tous les niveaux de production supérieurs à q_0 sont éliminés
- (ii) pour un niveau de production égal à q_0 , étant donné que toute la production est vendue sur le marché, il est connaissance commune que le prix de vente minimum est égal à p_1 ; pour ce prix de vente, la production totale sera plus grande que q_1 et donc tous les niveaux de production inférieurs à q_1 sont éliminés
- (iii) pour une production égale à q_1 , il est connaissance commune que le prix de vente ne sera pas plus grand que p_2 et l'élimination des niveaux de production se poursuit comme cela a été fait à partir de p_0 . La convergence vers l'équilibre (prix de vente égal à \bar{p}) est montrée sur la figure 1 (dans cette figure, $d=0$).

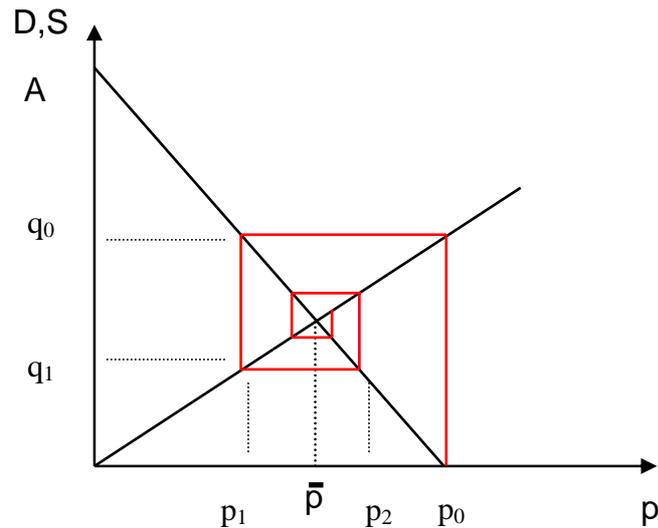


Figure 1: Convergence dans le modèle cobweb; elle se réalise dès que la pente de la fonction de demande est plus élevée que la pente de la fonction d'offre ($B > C$)

Les agents devraient donc entreprendre ce type de raisonnement divinatoire pour aboutir à l'équilibre.

Dans le modèle cobweb, la convergence vers l'unique équilibre semble provenir de règles d'apprentissage simples basées sur l'observation des données historiques. Quelques papiers théoriques, comme Bray et Savin (1986), ont montré que la convergence vers l'EAR est renforcée par un apprentissage par MCO. Arifovic (1994) a montré que cette convergence intervient dès que les agents utilisent des algorithmes génétiques d'apprentissage. Dans un papier expérimental récent, Hommes et Sonnemans (2002) ont montré que dans un marché expérimental stationnaire de type cobweb la distribution empirique des prix de vente réalisés correspond au prix de l'EAR. D'autres expériences ont été conduites afin de tester l'apprentissage dans le modèle cobweb : Villamil (1986) et Hommes (2000) ont mis en place des expériences où les fluctuations des prix sont déterminées par les décisions d'un seul individu ; Wellford (1989) et Hens et Vogt (2001) ont réalisé des expériences dans lesquelles les prix de vente sont déterminés par les choix de production des sujets. Notre expérience se fonde sur un marché linéaire non-perturbé dans lequel les sujets doivent prendre deux types de décisions : une décision de production, qui détermine le prix de vente et le gain de la production, et une prévision de prix, qui détermine le gain de la prévision. Nous essayons de répondre à deux questions principales: est-ce que la convergence vers l'équilibre d'AR se réalise dans les mêmes conditions que celles définies par la théorie, c'est-à-dire, est-elle sensible aux pentes relatives des fonctions d'offre et de demande agrégées du marché? Les

croyances constituent-elles un facteur propice à la coordination et à la convergence? La coordination des croyances est-elle obtenue par un raisonnement de type *eductif*?

Il est difficile de tester directement l'hypothèse de raisonnement *eductif*, car celui-ci se réalise en temps notionnel. Toutefois, les expériences réalisées par Nagel (1995) semblent montrer que dans un jeu isomorphe du modèle cobweb la "profondeur" de raisonnement *eductif* dépasse rarement le degré 2. Notre objectif est plutôt de voir si la convergence, lorsqu'elle se réalise, procède d'un raisonnement, quel que soit le type de raisonnement.

Le papier est organisé de la manière suivante : la Section 2 décrit le design expérimental et récapitule les hypothèses que nous essayons de tester. La Section 3 donne une image synthétique du comportement des sujets et de leurs performances de gains. La Section 4 présente les principaux résultats relatifs aux anticipations de prix et analyse les liens entre anticipations et décisions de production. La Section 5 présente les résultats relatifs aux décisions de prix et aux prix réalisés. La Section 6 présente les conclusions et la discussion des résultats.

2. Le design expérimental

Les expériences ont été réalisées dans le cadre du LEES entre juillet et novembre 2002. L'élimination itérée des stratégies dominées (le tâtonnement du cobweb en temps notionnel) conduit à l'équilibre dans le marché linéaire décrit auparavant lorsque la condition $B > C$ est remplie. Nous appelons cette condition *la condition de convergence* et les paramètres A , B , c , C , d et n les paramètres de spécification du modèle. Théoriquement, plus l'écart $B - C > 0$ est faible, plus la convergence est "rapide". La notion de "vitesse" de convergence est relative au nombre d'itérations de raisonnement *eductif*. Théoriquement, le raisonnement *eductif* est réalisé en temps notionnel, en un nombre infini d'étapes. Les fonctions d'offre et de demande retenues pour l'expérience impliquent un nombre fini d'étapes de raisonnement *eductif*, même en temps notionnel.

Nous avons réalisé 3 traitements à partir du modèle cobweb : un cas de "convergence rapide" (le traitement *fast*), un cas de "convergence lente" (le traitement *slow*) et un cas de "divergence" (où la condition d'équilibre citée n'est pas remplie). La notion de "vitesse de convergence" ne s'applique que dans les traitements *fast* et *slow*. Dans le traitement *fast* le nombre d'itérations (2) est inférieur à celui du traitement *slow* (7).

Le tableau 1 résume les paramètres de spécification des 3 traitements. Ces paramètres définissent les fonctions linéaires.

	<i>fast</i>	<i>slow</i>	<i>divergent</i>
<i>A</i>	900	900	900
<i>B</i>	9	9	9
<i>c</i>	1/10	8/5	21/5
<i>C</i>	5/10	8	21
<i>d</i>	-660	15	300/7
<i>n</i>	5	5	5

Tableau 1: Spécifications des fonctions linéaires pour les trois traitements. La vitesse de convergence est déterminée par l'écart B-C

Les sujets disposent d'informations sur la fonction de demande et sur leur fonction individuelle de coût marginal. La demande est linéaire et décroissante avec le prix. Les fonctions de coût marginal sont linéaires et croissantes. Les fonctions de demande et de coût sont présentées aux sujets sous forme de tableaux. Pour des raisons pratiques et pour obtenir un nombre fini d'itérations pour atteindre l'équilibre, les fonctions linéaires ont été discrétisées, c'est-à-dire ont été transformées en fonctions en escalier.

Pour construire ces tableaux et pour obtenir un nombre d'itérations théoriques fini jusqu'à l'équilibre, les fonctions linéaires sont transformées en fonctions en escalier.

Les fonctions de coût marginal individuelles sont donc présentées sous la forme de fonctions en escalier. Elles sont identiques pour tous les sujets d'un même traitement, mais différentes selon le traitement (en fonction de la vitesse de convergence). Les niveaux de production individuelle sont groupés par intervalles d'amplitude homogène dans chaque traitement, mais variable selon les traitements. Les amplitudes des intervalles de production individuelle sont de 1 dans le traitement *fast*, 8 dans le traitement *slow* et 20 dans le traitement *divergent*. Il y a 14 intervalles de production dans le traitement *fast*, 21 dans le traitement *slow* et 16 dans le traitement *divergent*. Le dernier intervalle de production individuelle est un ensemble ouvert de type $\{x_1, x_2, \dots\}$. A partir de la production individuelle x_1 le coût marginal reste constant et égal à la dernière valeur spécifiée; x_1 est fixé à 81 pour le traitement *fast*, 161 pour le traitement *slow* et 304 pour le traitement *divergent*. Les sujets reçoivent donc des tableaux de coût marginal qui font correspondre un coût marginal à chaque intervalle de production individuelle. Les coûts marginaux sont des nombres entiers multiples de 5, compris entre 10 et 140 pour le traitement *fast*, 20 et 120 pour le traitement *slow* et 45 et 120 pour le traitement

divergent. La somme des productions individuelles détermine la quantité totale, qui est égale à la demande du marché (toute la production est vendue) et le prix de vente.

L'ensemble de définition de la fonction de demande est $\{0,1,\dots,900\}$. Cette fonction est la même pour tous les traitements, comme cela est indiqué dans le tableau 2. La borne supérieure de cet intervalle détermine la capacité du marché ou la production totale (pour une quantité supérieure la prix de vente est nul). L'ensemble des choix possibles pour la production totale a été divisé en 21 intervalles homogènes de production d'amplitude égale à 45 unités. A chaque intervalle de production totale vendue sur le marché correspond un prix. Il y a donc 21 prix possibles sur la marché, qui sont des multiples de 5. Le prix maximum est obtenu pour une demande nulle et il est égal à 100. Les sujets reçoivent donc un tableau pour la fonction de demande, qui spécifie, pour chaque intervalle de production totale, un prix, avec l'ensemble de définition $\{0,\dots,900\}$ et l'ensemble de valeurs $\{0,\dots,100\}$.

Le tableau suivant récapitule toutes ces informations.

	<i>fast</i>	<i>slow</i>	<i>divergent</i>
<i>prix</i>	$\{0,\dots,100\}$	$\{0,\dots,100\}$	$\{0,\dots,100\}$
<i>production totale</i>	$\{0,\dots,900\}$	$\{0,\dots,900\}$	$\{0,\dots,900\}$
<i>nombre d'intervalles de production totale(de prix)</i>	21	21	21
<i>borne inférieure du dernier intervalle de production individuelle</i>	81	161	304
<i>nombre d'intervalles de production individuelle</i>	14	21	16
<i>amplitude des intervalles de production individuelle</i>	1	8	20
<i>Cm</i>	$\{10,\dots,140\}$	$\{20,\dots,120\}$	$\{45,\dots,120\}$

Tableau 2: Ensembles de définition et valeurs des fonctions pour faciliter la mise en œuvre des expériences

Tous les membres d'un groupe disposent des mêmes informations, ont les mêmes caractéristiques et doivent prendre le même type de décisions en même temps (traitements symétriques). Les sujets doivent prendre deux décisions : une décision de production et une anticipation de prix : un nombre entier, compris entre 0 et 900, pour la production, et un multiple de 5, compris entre 0 et 100, pour la prévision de prix. Pour prendre la décision de

production, les sujets disposent des tableaux de coût marginal (présentés en annexe et décrits précédemment). Le prix de vente se fixe par la confrontation de la production totale à la demande du marché, présentée aussi dans un tableau disponible en annexe.

Pour motiver les sujets à révéler leurs vraies prévisions, nous avons introduit une règle de rémunération en fonction de la "qualité" de la prévision. Cette règle affecte un montant forfaitaire en cas de prévision exacte, et en cas d'erreur de prévision, le montant forfaitaire est réduit en proportion de l'écart quadratique de prévision. Le profit des prévisions se calcule, comme cela a été précisé, avec la *quadrating scoring rule* :

$$JP^{rev}_t = 1000 - 0,8 \times (p^e_{it} - p_t)^2,$$

où JP^{rev}_t représente le gain ou la perte de la prévision, p^e_{it} est le prix prévu et p_t le prix de vente.

Les sujets percevaient, de ce fait, 2 rémunérations distinctes : l'une pour le profit résultant de la production individuelle et l'autre pour leur prévision. Le profit de la production se calcule selon la formule classique :

$$JP^{prod}_t = q_t \times p_t - CT(q_t),$$

où JP^{prod}_t est profit pour la période en cours, q_t la quantité produite et CT le coût total de production.

Ce "profit" peut être positif ou négatif, selon les valeurs prises par les prix, qui découlent de l'agrégation des décisions individuelles.

Nous définissons le *rapport des gains* par "gain de la production/gain de la prévision". Ce rapport mesure le gain relatif de la décision de production. Un rapport des gains inférieur à 1 correspond donc à un gain de prévision plus important. Théoriquement, la révélation des prévisions de prix est un élément de la coordination et de la convergence dans le modèle cobweb. Nous avons choisi de rémunérer les prévisions en fonction de l'écart de prévision de manière à inciter les sujets à révéler leurs "vraies croyances". Plus les sujets sont incités à révéler leurs croyances et à faire un même raisonnement divinatoire, plus il est probable qu'ils convergent dans un même sens, donc plus rapide sera la coordination. Il vient que, plus le rapport des gains est faible, plus de poids est accordé à la prévision, plus il est probable que la coordination et la convergence soient améliorées. La variable rapport des gains joue donc en sens contraire à la vitesse de convergence; en effet, plus la vitesse de convergence est faible, plus difficile est la convergence. Nous définissons les rapports des gains afin d'harmoniser les

vitesse de convergence. Le tableau 3 indique les valeurs théoriques du rapport des gains pour les trois traitements calculées à l'EAR et en cas de prévision parfaite.

	<i>fast</i>	<i>slow</i>	<i>divergent</i>
<i>rapport des gains</i>	3,4	1,4	0,4

Tableau 3: Rapport des gains pour les trois traitements; plus le rapport de gains est faible, plus de poids est accordé à la prévision et la convergence pourrait être améliorée

Pour le traitement divergent, le rapport théorique des gains est très faible par rapport aux deux autres traitements. Le poids relatif accordé à la prévision est-il un facteur de la coordination des croyances? Est-ce que la convergence vers l'équilibre pourrait être améliorée grâce aux croyances?

Chaque session comporte 40 périodes et rassemble 15 sujets, répartis en trois groupes indépendants et fixes de 5 sujets chacun. Les sujets ne communiquent pas entre eux. Au début de l'expérience, les sujets disposent d'un capital égal dans tous les traitements.

A la fin de chaque période, les sujets reçoivent des informations sur le prix de vente, leur coût de production, le gain ou la perte lié(e) à la production, le gain ou la perte lié(e) à la prévision du prix et le capital restant pour la période suivante. Ils ont également accès à l'ensemble de ces informations pour les périodes passées grâce à un bouton *historique*. Deux périodes d'essai ont été programmées afin que les sujets puissent se familiariser avec l'interface graphique. Dix questions de vérification de la compréhension étaient posées avant le début de l'expérience. Pendant le déroulement de l'expérience, les sujets pouvaient faire des commentaires écrits sur une feuille.

Les participants aux sessions étaient des étudiants, principalement de premier cycle, tirés au sort dans un pool de 1500 sujets volontaires pour constituer un échantillon représentatif de toutes les disciplines enseignées dans les différentes universités de Strasbourg. Le pool est maintenu à jour et renouvelé chaque année par l'équipe du LEES. Les sujets n'avaient jamais participé à des expériences de laboratoire similaires auparavant. Au total 90 sujets (6 groupes dans chaque traitement) ont participé à ces expériences. Ils ont gagné entre 6 et 30 euros en 90 minutes en moyenne. Les sections suivantes présentent les résultats obtenus.

3. Les gains

Nous nous intéressons pour commencer aux gains que les sujets ont obtenu à l'issue de ces expériences. Les gains pourraient nous fournir une image rapide du comportement des agents et de leurs performances.

Le tableau 4 récapitule les gains moyens issus de la production et de la prévision, ainsi que les écarts-type pour ces gains. Ces gains moyens ont été calculés sur les 20 premières périodes et sur les 20 dernières périodes. Nous rappelons que les prédictions théoriques du modèle cobweb impliquent des gains de production maximums à l'équilibre concurrentiel : de 450 points pour le cas *divergent*, 1440 points pour le cas *slow* et de 3450 points pour le cas *fast*. Les gains de la prévision sont plafonnés à 1000 points, du fait de la spécification de la fonction de gain, qui peut être atteint en cas de prévision parfaite.

<i>moyenne/écart-type</i>		<i>fast</i>		<i>slow</i>		<i>divergent</i>	
		<i>m</i>	σ	<i>m</i>	σ	<i>m</i>	σ
<i>20 premières périodes</i>	<i>gain production</i>	2685	5383	1433	2116	224	6079
	<i>gain prévision</i>	914	294	924	259	784	653
<i>20 dernières périodes</i>	<i>gain production</i>	3439	632	1662	395	813	720
	<i>gain prévision</i>	973	100	989	21	962	129

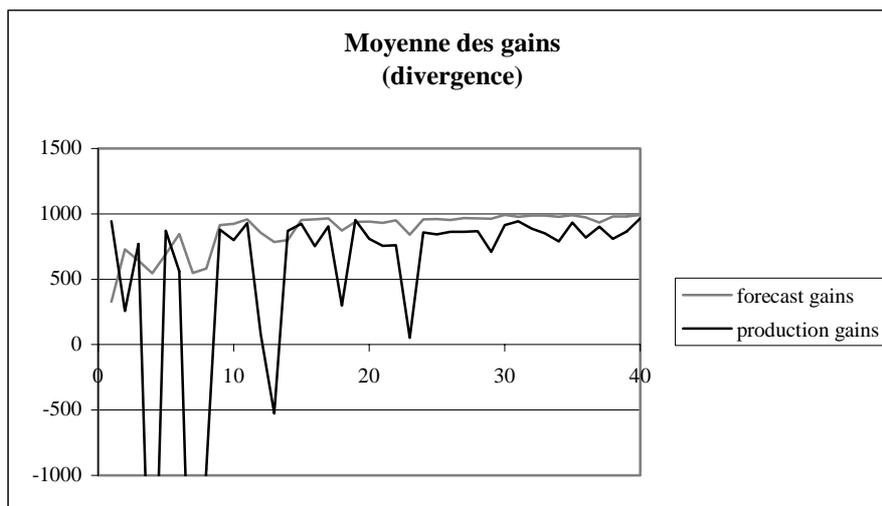
Tableau 4: Gains de production et de prévision pour les trois traitements; les gains s'améliorent et les différences entre les sujets s'affaiblissent au cours du temps

Une observation immédiate du tableau 4 est que les gains issus de la production sont plus volatils que les gains de la prévision. La moyenne des gains est plus élevée dans le cas *fast* que dans le cas *divergent* et *slow*, ce qui confirme les prévisions théoriques. Nous observons, pourtant, que les gains issus de la production, dans le traitement *fast*, se situent plutôt loin du profit prédit par la théorie dans les 20 premières périodes, avec des différences marquées d'un individu à l'autre et d'une période à l'autre. Dans les 20 dernières périodes, ces gains s'améliorent, pour dépasser en moyenne légèrement le profit prédit, avec des écarts-type très faibles par rapport à ceux des 20 premières périodes. Dans le traitement *slow*, les gains de la production suivent la même tendance, avec cependant un point de départ plus proche du profit prédit. Dans le cas *divergent*, les résultats sont beaucoup plus marqués: les gains de la

production sont très faibles les 20 dernières périodes mais ils sont 4 fois plus élevés pour la deuxième partie de l'expérience.

Les gains issus de la prévision sont dès les 20 premières périodes très proches de la valeur maximale, compte-tenu de la définition de la fonction de gain de la prévision. Ce qui doit être souligné est la baisse marquée des écarts-type de ces gains.

Il apparaît qu'avec le temps, *les gains moyens de production et de prévision augmentent, alors que les différences entre les joueurs diminuent*. Cette baisse marquée des différences entre joueurs est révélatrice de la coordination des prévisions. Nous émettons donc l'hypothèse d'un succès de la coordination par les croyances, qui devra être confirmée avec les analyses suivantes. Cette coordination se fait dans un cadre plus symétrique dans les deux cas convergents et garde des différences entre les joueurs dans le traitement *divergent* (voir les écarts-type). Ce résultat est important dans la mesure où les agents ne devraient pas se coordonner dans le cas divergent. La spécification des fonctions dans le cas divergent semble responsable des différences dans les prévisions qui subsistent entre les joueurs dans ce cas (écarts-type élevés). Mais le rapport de gains favorable à la prévision dans ce traitement contribue à la réalisation de la coordination. Il résulte que les croyances sont un élément fort de coordination, d'autant plus que, dans ce traitement, cela induit aussi une grande performance des joueurs dans les gains de production. Nous envisageons par la suite de comparer ces résultats avec les résultats obtenus dans un traitement complémentaire de divergence sans prévisions. Les graphiques de la figure 2 récapitulent ces conclusions.



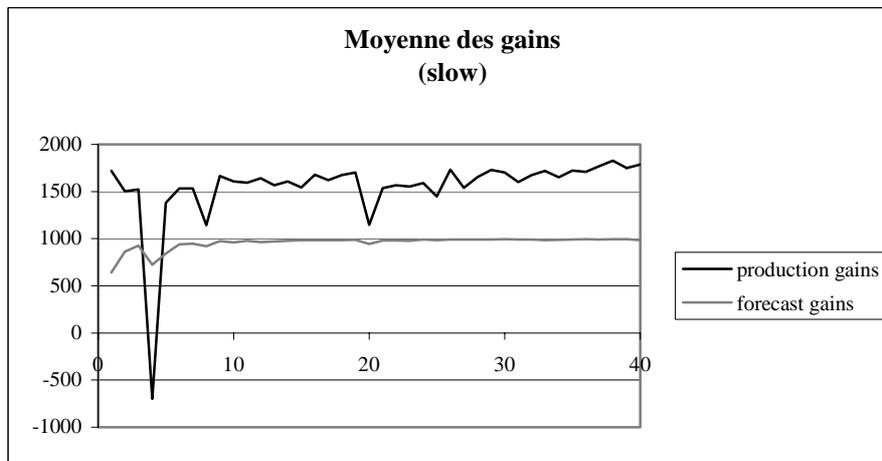
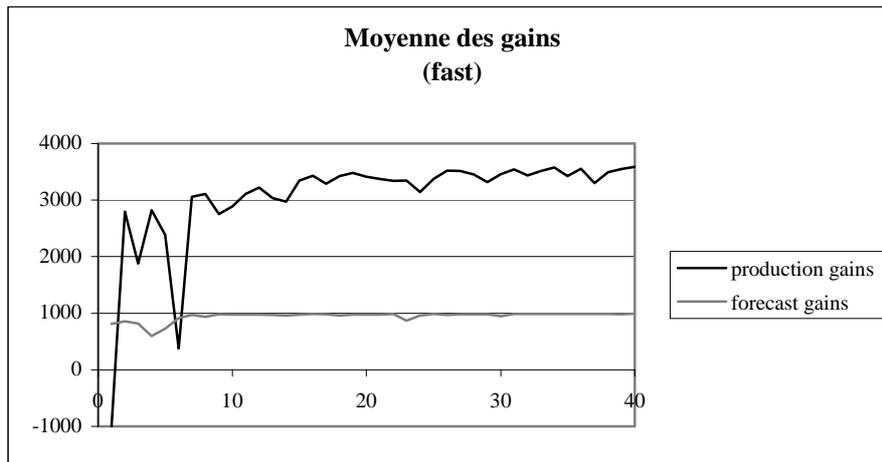


Figure 2 : Evolution des gains de production et de prévision. Les gains de prévision se rapprochent beaucoup plus rapidement de leur valeur maximale

En résumé, l'analyse rapide des gains fait état d'une convergence beaucoup plus rapide des prévisions que des décisions de production, alors que, théoriquement, les deux devraient être corrélées. Notons aussi la performance du traitement *divergent* en termes de production. Nous en concluons, d'une part, que les sujets se concentrent plus sur la prévision de prix; d'autre part, que la performance des gains de production dans le cas divergent pourrait être due à ce succès de coordination par les croyances. Elle pourrait aussi être la conséquence d'une exploitation des possibilités offertes par le marché et à un cantonnement dans un type de stratégie qui fournit des gains élevés.

Nous analysons donc, tout d'abord, les prévisions de prix, qui révèlent la coordination la plus marquée et, par la suite, la décision de production des sujets.

4. Les prévisions de prix

Nous analysons dans cette section les prévisions de prix. Nous faisons deux hypothèses liées aux anticipations du prix. Premièrement, ces prévisions du prix devraient se coordonner au fur et à mesure que les agents font un apprentissage des conditions du marché par un raisonnement de type adaptatif ou *eductif* ; cette coordination a été soulignée par la tendance des gains de la prévision. Il en découle que les erreurs de prévision devaient se réduire au cours du temps. Deuxièmement, les sujets devraient corrélérer les deux décisions : leur décisions de production devraient être des meilleures réponses à leur anticipations de prix.

4.1. La coordination des prévisions

Dans cette section nous abordons la première hypothèse, relative à la coordination des anticipations de prix.

L'anticipation de prix détermine un gain ou une perte de la prévision, calculé(e) selon la *quadratic scoring rule*. Cette règle de calcul est telle que les sujets ont toujours intérêt à communiquer leurs vraies croyances (cela était spécifié dans les instructions).

Le tableau 5 présente les statistiques descriptives pour les prévisions pour tous les groupes dans chaque traitement.

		<i>gr 1</i>	<i>gr 2</i>	<i>gr 3</i>	<i>gr 4</i>	<i>gr 5</i>	<i>gr 6</i>
<i>Fast</i>	<i>m</i>	70,5	66	71	62,5	62,3	62
	σ	12	5,8	6	9	6	4
<i>Divergence</i>	<i>m</i>	71,1	63	70,1	70	67,5	63
	σ	3,44	5,12	10	17	5,5	8,8
<i>Slow</i>	<i>m</i>	60,4	58	70	67	70	68,5
	σ	4,6	3,8	10	6	5	7,2

Tableau 5: Statistiques descriptives (moyenne/écart-type) pour les prévisions de prix

Les graphiques de la figure 3 montrent, pour un groupe de chaque traitement, les anticipations individuelles du prix de vente. Ces sont les groupes où la coordination est la plus nette.

Cette figure révèle des profils intra-groupes semblables pour les anticipations de prix : les différences inter-agents sont faibles à l'intérieur des groupes. A cette observation visuelle s'ajoute l'observation précédente des séries des gains dus à la prévision. Ces deux faits pourraient nous suggérer qu'à l'intérieur d'un groupe, les agents arrivent à se coordonner.

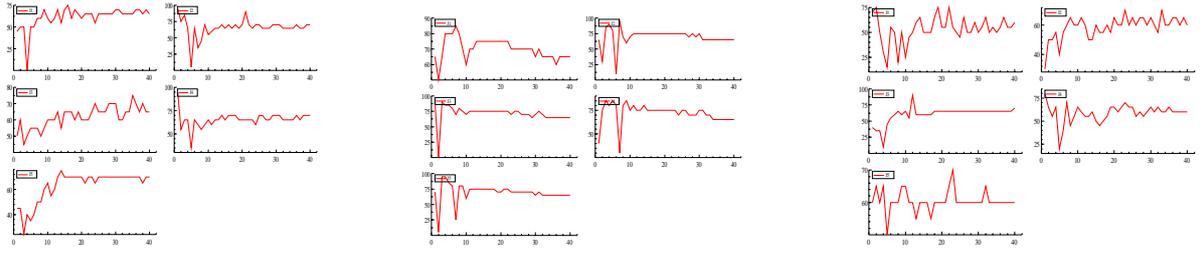


Figure 3: Prévisions individuelles du prix dans les cas divergent, fast et slow. Nous observons des profils de prévision semblables révélateurs de la coordination des croyances

Nous essayons de quantifier ces observations en calculant l'erreur quadratique de prévision

moyenne dans chaque groupe. Cette erreur est définie par $\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - p_t)^2$, où T est

le nombre de périodes sur lesquelles nous calculons cette erreur (T peut donc aller de 1 à 40 et t_0 de même), n est le nombre de joueurs pour lesquels nous calculons cette erreur (n peut aller de 1 à 5 pour ces traitements), p_{it}^e est la prévision du prix de vente faite par l'agent i pour la période t , et p_t est le prix de vente qui s'établit sur le marché à la période t (le même pour tous les agents d'un groupe). Nous pouvons calculer cette erreur moyenne sur l'ensemble des périodes de l'expérience, diviser les 40 périodes en deux parties de 20 périodes chacune pour observer l'évolution de cette moyenne au cours du temps ou alors retirer du calcul les 10 premières périodes, qui sont des périodes d'accommodation avec l'expérience et qui ont des variations plus importantes que le reste.

Cette erreur de prévision quadratique moyenne peut être décomposée (Hommes, 2002) :

$$\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - p_t)^2 = \frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - \overline{p_t^e})^2 + \frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^T (\overline{p_t^e} - p_t)^2,$$

où $\overline{p_t^e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{it}^e$ est la prévision moyenne des n sujets dans un groupe pour la période t . Le

premier terme, $\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - \overline{p_t^e})^2$, que nous appelons *l'erreur moyenne de*

dispersion, mesure la dispersion entre les prévisions individuelles. Il donne la moyenne quadratique de la distance entre les prévisions individuelles et la prévision moyenne du groupe, calculée pour toutes les périodes et tous les agents. Cette erreur peut être nulle si et seulement si tous les participants font exactement la même prévision pour le prix. Si ce terme

est proche de 0 ou petit, les différences entre les prix prédits et la moyenne des prévisions sont faibles et nous pouvons considérer que les agents utilisent en moyenne les mêmes stratégies

de prévision du prix. Le terme $\frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^T (\overline{p_t^e} - p_t)^2$ mesure l'écart quadratique moyen entre la

prévision moyenne et le prix réalisé. Nous appelons ce terme *l'erreur moyenne commune*. Si les anticipations individuelles ont des erreurs de moyenne nulle, ce terme devrait être relativement petit. Cette hypothèse est conforme à la formulation que fait Muth (1961) de l'hypothèse d'anticipations rationnelles, selon laquelle la distribution des anticipations devait *ressembler* à la prédiction théorique, c'est-à-dire que les anticipations individuelles peuvent être *fausses*, mais qu'au niveau agrégé les anticipations sont approximativement correctes.

Nous calculons tous ces termes pour tous les groupes et tous les traitements pour les 30 dernières périodes uniquement, à cause du caractère perturbateur des 10 premières périodes d'accommodation. Le tableau 6 présente cette décomposition pour les 3 cas.

Divergent		erreur moyenne individuelle	erreur de dispersion moyenne	erreur commune moyenne
	groupe	$\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - p_t)^2$	$\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - \overline{p_t^e})^2$	$\frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^T (\overline{p_t^e} - p_t)^2$
$T=30$ $t_0=11$	1	13,33	4 (30%)	9,33 (70%)
	2	51,66	14,13 (27%)	37,53 (73%)
	3	36,16	14 (39%)	22,16 (61%)
	4	254	106 (41%)	148 (58%)
	5	18	6 (33%)	12 (66%)
	6	61	33 (54%)	28 (45%)

Fast		erreur moyenne individuelle	erreur de dispersion moyenne	erreur commune moyenne
	groupe	$\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - p_t)^2$	$\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - \overline{p_t^e})^2$	$\frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^T (\overline{p_t^e} - p_t)^2$
$T=30$ $t_0=11$	1	8,16	3,53 (43%)	4,63 (57%)
	2	19,66	6,73 (34%)	12,93 (66%)
	3	19,16	8,8 (46%)	10,36 (53%)
	4	51	40 (80%)	11 (20%)
	5	36	22 (74%)	13 (26%)
	6	13	6 (48%)	7 (52%)

Slow	groupe	erreur moyenne individuelle	erreur de dispersion moyenne	erreur commune moyenne
		$\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - p_t)^2$	$\frac{1}{Tn} \sum_{i=1}^n \sum_{t=t_0}^T (p_{it}^e - \overline{p_t^e})^2$	$\frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^T (\overline{p_t^e} - p_t)^2$
$T=30$ $t_0=11$	1	6,33	3,46 (55%)	2,86 (45%)
	2	8,66	2,2 (25%)	6,46 (75%)
	3	43,5	29 (67%)	14,5 (33%)
	4	24	8 (33%)	16 (66%)
	5	12	4 (33%)	7 (66%)
	6	24	17 (70%)	7 (30%)

Tableau 6: Décomposition des erreurs quadratiques moyennes de prévision. L'erreur de dispersion est moins importante que l'erreur commune, signe de coordination intra-groupe

Les erreurs dues à la dispersion des anticipations sont plus faibles que les erreurs communes dans 13 cas sur 18. Ce résultat indique une coordination sur une stratégie commune de prévision du prix de vente. Le fait que la plus grande partie relative de l'erreur quadratique moyenne de prévision est due aux erreurs communes (différence systématique du prix moyen anticipé et du prix réel) implique un rejet de l'hypothèse qui supposait que les agents retiennent comme stratégie de prévision des prix la règle d'anticipations rationnelles à erreurs. Ce résultat suggère que les erreurs des agents sont corrélées : les agents font des erreurs d'anticipations et ceci de la même manière.

Deux interrogations découlent de cette analyse : est-ce que les erreurs sont significatives ? est-ce que ces erreurs sont structurelles ?

Nous répondons à la première question en nous intéressant à l'importance de ces erreurs quadratiques moyennes lorsqu'elles sont calculées sur les 30 dernières périodes. Les prix de vente peuvent prendre des valeurs entières entre 0 et 100, multiples de 5 (5 est donc le pas du prix de vente). Il en découle que les erreurs quadratiques moyennes représentent entre 1 et 10 pas, et, conformément aux prédictions, nous pouvons constater que les erreurs les moins importantes sont celles du traitement *fast*, les erreurs modérées celles du traitement *slow* et les erreurs relativement fortes, celles du traitement *divergent*.

Pour répondre à la deuxième question, nous regardons quelle est la structure des retards exploitables du prix de vente, c'est-à-dire, une structure qui pourrait être exploitée par les sujets pour former leurs prévisions. La figure 5 montre les fonctions d'autocorrélation pour les prix réalisés pour 3 groupes dans chaque traitement et pour les 10 premiers retards et avec la bande de significativité à 2,5%. Nous essayons de voir si les prix de vente ont une

structure anticipative simple, de type linéaire, qui pourrait facilement être exploitée par les sujets. Nous trouvons qu'il n'y a pas de structure de prévision facilement exploitable dans le marché, mis à part les deux premiers groupes dans le cas slow.

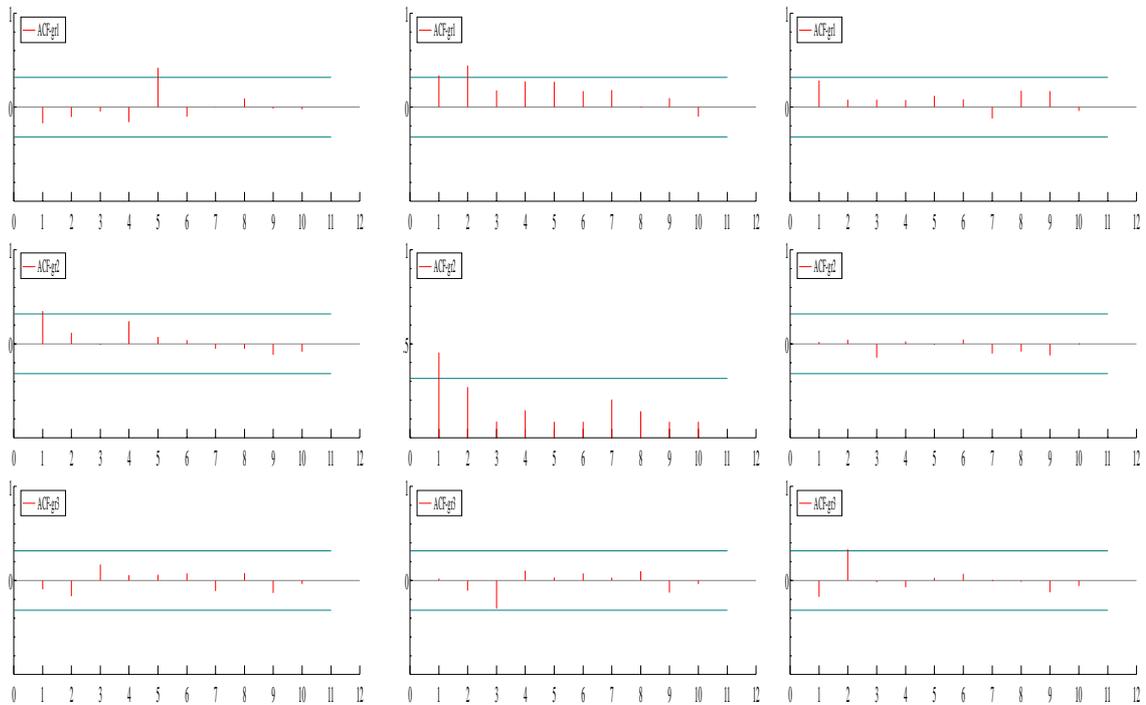


Figure 4: Autocorrélations dans les cas fast, slow et divergent; peu de retards sont significatifs et la structure du prix de vente ne fournit pas une règle d'anticipation linéaire

Il apparaît donc que les erreurs ne révèlent pas de la structure des prix de vente. Si nous regardons la convergence comme définie auparavant, nous devrions obtenir une convergence dans un intervalle *modéré* après quelques périodes. Nous parlons de convergence lorsque la moyenne du prix prédit dans un groupe appartient à un intervalle déterminé à partir d'une certaine période et y reste jusqu'à la dernière période. Nous appelons cet intervalle *intervalle de convergence* et la période à partir de laquelle la prévision y rentre la *période de convergence*. La convergence est donc caractérisée par deux attributs : son type (forte, modérée ou faible) et sa vitesse (rapide ou lente). Selon l'amplitude de l'intervalle de convergence, nous pouvons parler de convergence forte (dans un intervalle étroit) et convergence faible (dans un intervalle large). La vitesse de convergence a été définie précédemment.

L'intervalle de convergence est construit autour de la moyenne prédite du prix dans un groupe. Par exemple, soient les valeurs a, b, c, d, e, f des multiples de 5 avec les propriétés suivantes :

$$a, b, c, d, e, f \in \{0, \dots, 100\} \text{ et } a < b < c < d < e < f$$

Supposons que le prix moyen prédit est égal à p , tel que $c < p < d$. Cette prévision moyenne est calculée en faisant la moyenne des valeurs anticipées à chaque période. Nous regardons, pour chacune des 40 valeurs, si elles s'inscrivent dans l'intervalle de convergence le plus étroit, c'est-à-dire $[c, d]$. Si, à partir de la valeur v_i anticipée pour le prix à la période i , les valeurs $v_{i+1}, v_{i+2}, \dots, v_{40}$ s'inscrivent dans l'intervalle de convergence, nous pouvons dire que, pour ce groupe, il y a eu une convergence forte des anticipations à la période i . Le numéro de la période de convergence, i , est la contrepartie observable de la variable *vitesse de convergence*. S'il existe une valeur $v_{i+j} \notin [c, d]$, alors la convergence ne se réalise pas dans l'intervalle $[c, d]$ et nous recherchons un intervalle de convergence plus large, $[b, d]$. Si $v_i \in [b, d]$, $\forall i$ plus grand qu'un certain seuil, alors la convergence se réalise dans l'intervalle $[b, d]$ et nous parlons de convergence faible par rapport au premier exemple. Ici la convergence la plus forte se réaliserait dans l'intervalle $[c, d]$ et la plus faible dans l'intervalle $[a, f]$.

Avec les 40 périodes de l'expérience, nous recherchons la convergence dans l'intervalle d'amplitude 10 (donc 3 prix sur un ensemble de 21). Le tableau suivant présente la vitesse de convergence pour les trois traitements et pour les 6 groupes.

	<i>gr 1</i>	<i>gr 2</i>	<i>gr 3</i>	<i>gr 4</i>	<i>gr 5</i>	<i>gr 6</i>
<i>fast</i>	7	8	8	12	17	20
<i>divergent</i>	4	5	8	10	12	30
<i>slow</i>	1	1	6	8	10	18

Tableau 7: Vitesse de convergence des prévisions. La convergence est plus rapide lorsque ces valeurs sont plus faibles.

Pour compléter ce tableau nous calculons l'indice de succès prédictif de Selten (1983). Cet indice est défini comme la différence entre la fréquence relative des résultats compatibles avec la prédiction et la taille relative de la zone de prédiction par rapport à l'ensemble des résultats possibles :

$$m = r - a,$$

où m est l'indice de succès prédictif, r est la fréquence relative des résultats compatibles avec la prévision et a est la taille relative de la zone de prédiction. Nous calculons ici une mesure du succès prédictif large (prévoir dans un intervalle stable et autour de la moyenne du groupe).

Les aires de prédiction sont les intervalles de convergence, d'amplitude 10 (qui incluent donc 3 prix sur 21) et donc $a = 14\%$. Nous calculons les fréquences de réussite pour chaque traitement (r). Le tableau 8 présente les résultats de ces calculs et du calcul de m pour tous les traitements; ces résultats présentent des indices élevés et très symétriques pour les trois traitements.

	<i>fast</i>	<i>slow</i>	<i>divergent</i>
<i>r</i>	76%	82%	77%
<i>a</i>	14%	14%	14%
<i>m</i>	62%	68%	63%

Tableau 8: Mesure du succès prédictif pour les anticipations

4.2. Corrélacion entre les prévisions et les décisions de production

Dans cette section nous essayons de répondre à la question de la corrélation entre la prévision de prix et la production individuelle. Nous considérons que les sujets ont relié les deux décisions si nous observons qu'ils ont mis en œuvre des stratégies des type "meilleure réponse" de production individuelle au prix prédit. La meilleure réponse à un prix prédit p^e est la quantité q^e qui maximise le profit individuel étant donné le prix prédit. Dans toute la discussion suivante nous conservons l'hypothèse de symétrie des joueurs. Les calculs fournissent pour chaque niveau de prix prédit une quantité. Nous construisons des intervalles de meilleure réponse dont l'amplitude dépend de ces intervalles de production. Ensuite, nous comparons la quantité choisie q à cette quantité de meilleure réponse q^e (en faisant la différence entre ces deux valeurs et puis en prenant la valeur absolue $|q - q^e|$). Nous considérons qu'un joueur fournit la meilleure réponse lorsque $|q - q^e|$ s'inscrit dans des intervalles d'amplitudes qui varient entre 2 et 15, selon le traitement.

Le tableau 9 fait état du nombre total de meilleures réponses fournies par les sujets dans les 3 traitements. Nous concluons que les sujets utilisent plus fréquemment des stratégies

alternatives à la meilleure réponse (dans 75% des cas) et nous essayons de voir quelles en sont les raisons.

Nous regardons si les stratégies alternatives utilisées par les joueurs ont des performances relatives en termes de gain supérieures à la stratégie de meilleure réponse. Pour cela, nous calculons, avec les formules spécifiées, quel aurait été le gain de production \mathcal{J}_i^e d'un joueur s'il avait joué en termes de quantité la meilleure réponse q^e au prix qu'il avait prédit p^e , par rapport au gain réel obtenu \mathcal{J}_i . Nous regardons, ensuite, quelle est la fréquence de la réalisation de $\mathcal{J}_i > \mathcal{J}_i^e$.

Fast convergence		Slow convergence		Divergence	
fréquence des meilleures réponses	fréquence de $\mathcal{J}_i > \mathcal{J}_i^e$	fréquence des meilleures réponses	fréquence de $\mathcal{J}_i > \mathcal{J}_i^e$	fréquence des meilleures réponses	fréquence de $\mathcal{J}_i > \mathcal{J}_i^e$
25%	12%	28%	12%	26%	24%

Tableau 9: Fréquence des meilleures réponses et performance des stratégies alternatives. Plus la fréquence des MR est élevée, plus la décision de production et l'anticipation de prix sont corrélées. La performance indique les cas où les stratégies alternatives ont fourni des meilleurs gains

Les stratégies alternatives semblent avoir mieux réussi dans le cas de la divergence. Ce résultat est logique, puisque, théoriquement, la stratégie de la meilleure réponse devrait conduire les joueurs à diverger de l'équilibre et donc les stratégies alternatives isolées dans un groupe peuvent procurer des gains supérieurs.

5. La décision de production et le prix de vente

5.1. La production

Chaque sujet doit prendre une décision de production à chaque période. A l'équilibre d'anticipations rationnelles la quantité qui maximise le profit individuel est de 72 unités. Cela conduit à une quantité totale d'équilibre de 360 unités pour le groupe, quel que soit le traitement. Du fait de la construction des intervalles de quantité, la production théorique d'équilibre fait partie du 9^{ème} intervalle, qui est $\{360, \dots, 404\}$.

Pour chaque traitement on observe 1200 décisions de production (6 groupes \times 5 joueurs \times 40 périodes). Ces décisions conduisent à chaque période à un marché spécifique, défini par le prix de vente et la quantité totale vendue sur le marché. La quantité vendue sur le marché est

égale à la somme des décisions de production individuelles. Il y a donc pour chaque traitement 240 marchés réalisés.

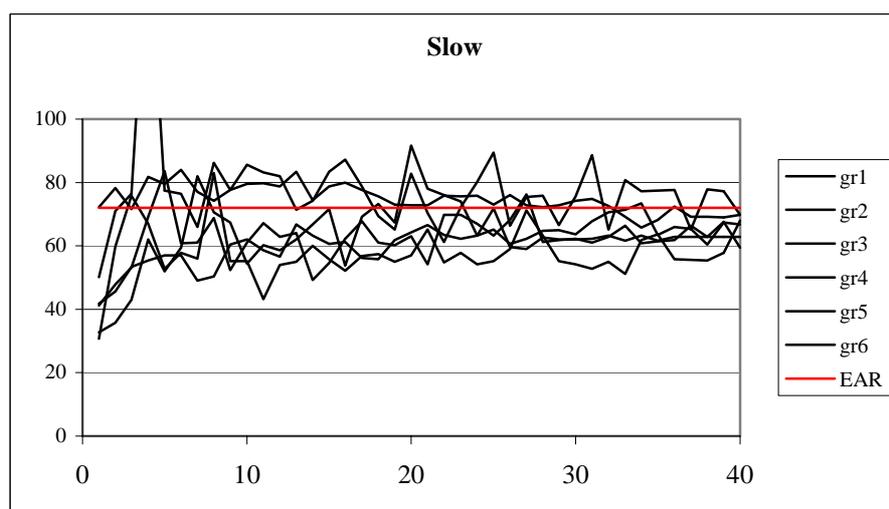
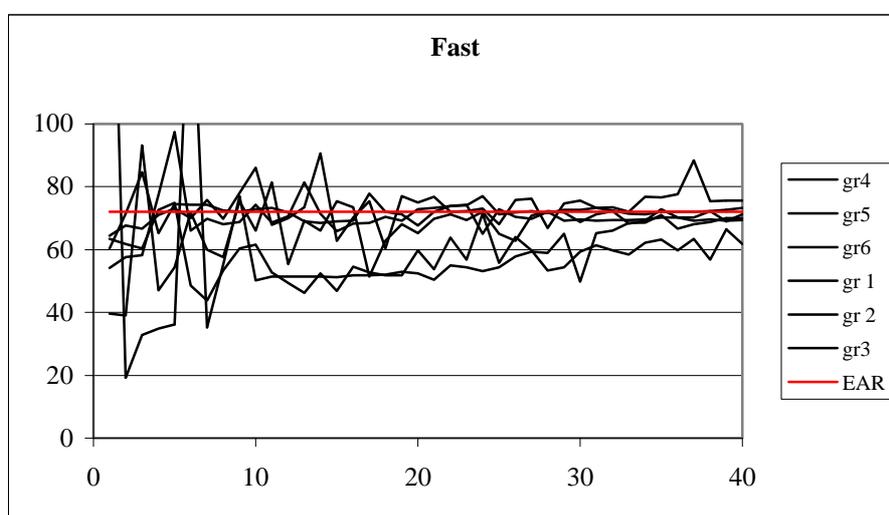
Nous regardons le nombre de fois où la production *totale* du groupe s'inscrit dans l'intervalle d'équilibre. Dans le cas *divergent* le pourcentage de production totale dans l'intervalle d'équilibre est de 6%. Dans le cas de convergence lente, la production totale du groupe se retrouve dans l'intervalle d'équilibre 38%. Dans le cas de convergence rapide, ce pourcentage est de 9%. Ces valeurs sont très faibles, mis à part le traitement de convergence lente. Ce résultat plutôt décevant est dû en partie à une variabilité importante des productions choisies.

Un constat immédiat nous indique que dans tous les traitements le pourcentage d'excès d'offre est très faible (inférieur à 10%). Seules les valeurs prises par ce pourcentage dans les cas de convergence lente sont plus élevées (20%). Les faibles pourcentages d'excès d'offre constituent un résultat classique de sous-production dans les expériences de marché de double enchère (Davis, Holt, 1993). Ce résultat est la conséquence de la perception qu'ont les sujets du jeu de marché auquel ils participent. En général, dans les marchés de double enchère, il suffit d'avoir au moins deux acheteurs et deux vendeurs pour que les sujets se comportent comme s'ils étaient confrontés à un marché de concurrence pure et parfaite. Cependant, dans les expériences où les sujets participent aux transactions sur un seul côté du marché, avoir des groupes de taille au moins égale à 5 n'implique pas un comportement de concurrence pure et parfaite ; nous observons plutôt des comportements de concurrence oligopolistique ou de collusion. Nous avons donc également calculé l'équilibre théorique dans l'hypothèse où les sujets se comporteraient de manière stratégique (concurrence oligopolistique) et dans l'hypothèse où les sujets se comporteraient de manière collusive. Les résultats seront détaillés dans la section concernant les prix de vente.

La convergence vers l'équilibre est une des questions importantes qui avaient motivé nos expériences : en termes de quantité, les sujets sont-ils capables, avec la répétition du jeu de marché non perturbé, d'approcher l'équilibre?

Pour y répondre nous analysons les choix individuels *en moyenne* (de l'agent représentatif de chaque groupe). Les graphiques de la figure 7 présentent les quantités produites moyennes dans chaque groupe et pour chaque traitement.

Tous ces graphiques font apparaître une convergence vers l'équilibre individuel avec la répétition du jeu. Le fait saillant est une certaine convergence dans le cas de divergence, qui est visible même si les productions restent plus volatiles que dans les autres cas. Ce résultat doit être mis en avant dans la mesure où la théorie prédit le contraire : dans le cas de convergence dite rapide les paramètres sont choisis de manière à permettre facilement et rapidement (en très peu de pas de raisonnement divinatoire) la coordination sur une quantité. Mais ce résultat pourrait s'expliquer justement par la définition des fonctions de coût individuelles (la demande est la même pour tous les traitements) : les *erreurs* coûtent moins cher et sont plus probables dans le cas *fast* (les sujets ne font pas de changements importants d'intervalle de production, et un changement d'un ou deux intervalles dans le cas *fast* ne les éloigne pas significativement de la quantité d'équilibre).



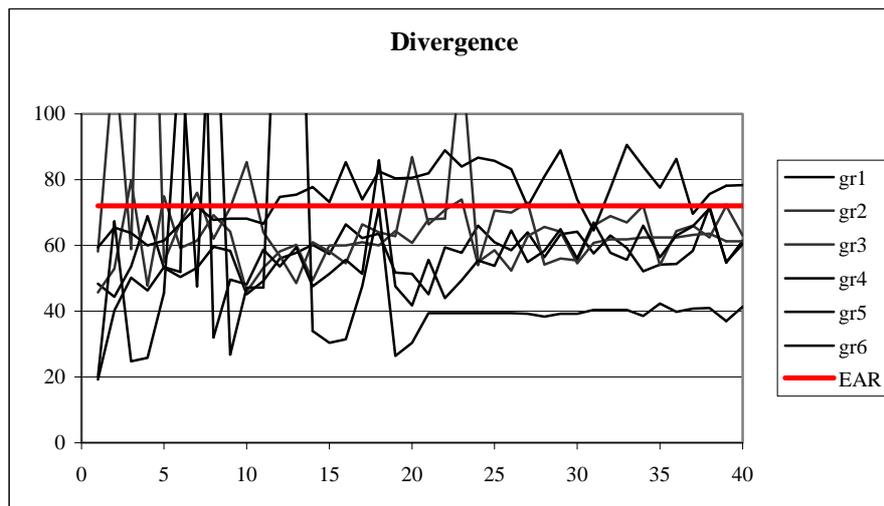


Figure 5: Productions moyennes par groupe et production de l'EAR

Ces résultats montrent une certaine convergence vers l'équilibre théorique, cependant la production totale vendue sur le marché peut être légèrement différente de l'équilibre théorique. Il est donc plausible que les agents soient beaucoup plus performants à approcher les conditions de vente réelles du marché et puis à les faire durer.

Pour compléter cette analyse nous calculons l'indice de succès prédictif de Selten (1983), défini précédemment. Nous calculons pour les trois traitements les valeurs de a en fonction de la largeur de l'intervalle théorique de l'équilibre. Théoriquement, le choix des productions individuelles peut se faire dans une rangée de valeurs infinie ou au moins dans l'intervalle $\{0, \dots, 900\}$. Cependant, nous devons restreindre la zone des possibilités de production afin de pouvoir calculer la taille de la zone de prédiction. Il apparaît que les sujets dépassent rarement (moins de 2% des fois) la production x_l pour laquelle le coût marginal de production est maximal et reste constant, quelle que soit la valeur supérieure à x_l . Nous rappelons que cette valeur est de 304 pour le traitement *divergent*, de 161 pour le traitement *slow* et de 81 pour le traitement *fast*. Les amplitudes des intervalles sont de 20 pour le cas divergent, 8 et 1 pour le cas de convergence lente et rapide. Nous dénombrons aussi les choix de production individuelle compatibles avec la théorie. Le tableau 10 présente les résultats de ces calculs et du calcul de m pour tous les traitements.

	<i>fast</i>	<i>slow</i>	<i>divergence</i>
<i>r</i>	12,7%	21%	28%
<i>a</i>	1,2%	5%	6%
<i>m</i>	11,5%	16%	22%

Tableau 10: Mesure du succès prédictif pour le choix des quantités produites

Nous remarquons que l'indice de succès prédictif le plus élevé est celui du cas *divergent*. Ce cas est théoriquement le plus difficile pour la coordination (coordination impossible par le raisonnement *eductif à la Guesnerie*). L'indice de succès prédictif pour la production pourrait être élevé, contrairement aux anticipations, à cause de cette *difficulté*. Il se pourrait que les joueurs, une fois qu'ils aient trouvé une production individuelle qui leur permet d'avoir des gains *satisfaisants*, ne changent plus d'intervalle parce que, dans ce traitement, les changements d'intervalle vers le haut ou vers le bas sont coûteux. Le faible résultat obtenu dans le cas *fast* peut avoir des explications similaires : dans ce cas les changements d'intervalle de production sont très peu coûteux ; les sujets sont incités à *essayer* de produire dans plusieurs intervalles autour de l'intervalle théorique.

Pour conclure l'analyse de la production, il apparaît qu'il existe une convergence de la production, mais qu'elle est biaisée par la difficulté de la tâche. Les décisions de production sont volatiles et une *apparence* de stabilité et de convergence est à noter dans la cas *divergent*. L'équilibre de production reste asymétrique entre les sujets d'un groupe et cela explique les indices modérés de succès prédictif de la production.

5.2. Le prix de vente

Toute la production est vendue sur le marché à un prix de vente qui s'établit par la confrontation de cette production avec la demande du marché, qui est exogène. Nous rappelons que la capacité d'absorption du marché est de 900 unités. Le prix d'équilibre d'anticipations rationnelles s'établit à 60 points/unité.

Les commentaires des sujets sur le déroulement de l'expérience nous révèlent qu'ils perçoivent le choix d'une production individuelle comme une tâche difficile. Ceci pourrait expliquer l'hétérogénéité des quantités choisies au sein du groupe. Les sujets essaient de conserver la qualité de leurs prévisions ; pour ce faire, le prix sur le marché doit rester proche de leurs

prévisions. Il résulte que les sujets ne changent pas de valeur pour la production pour ne pas influencer la quantité totale produite par le groupe et donc le prix de vente, qui est déterminé par cette quantité.

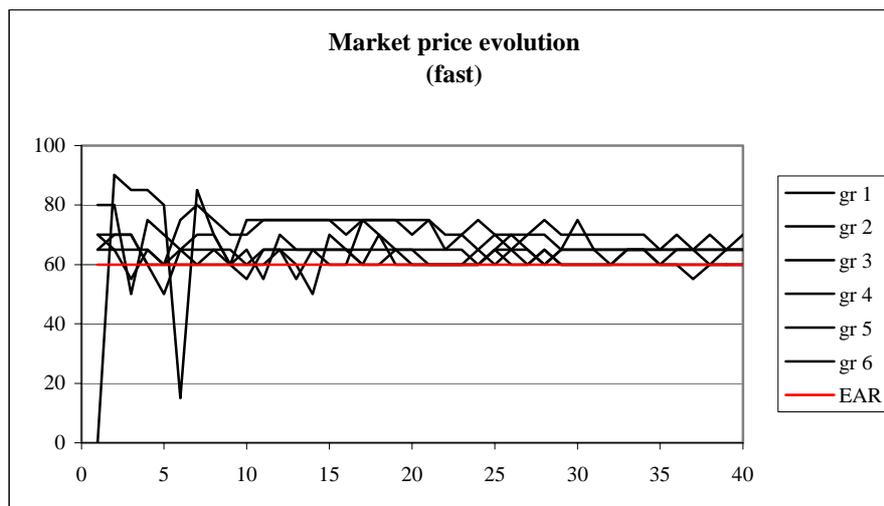
La convergence du prix de vente est analysée groupe par groupe. Puisque tous les groupes, même à l'intérieur d'un même traitement, ne convergent pas à la même période, nous comparons les périodes relatives de convergence et essayons de voir si des différences marquantes de vitesse de convergence sont visibles. Le tableau 11 présente les périodes de convergence pour tous les traitements dans un intervalle d'amplitude 10.

	<i>gr 1</i>	<i>gr 2</i>	<i>gr 3</i>	<i>gr 4</i>	<i>gr 5</i>	<i>gr 6</i>
<i>fast</i>	2	5	7	9	17	18
<i>slow</i>	1	2	5	11	20	23
<i>divergence</i>	2	9	10	21	23	30

Tableau 11: Période de convergence du prix de vente

Nous observons donc une grande différence de convergence dans les traitements *divergent* et *slow*. Les groupes des traitements *fast* sont beaucoup plus homogènes (les périodes de convergence sont plus rapprochées les unes des autres).

Cependant ces résultats doivent être nuancés car ils ne font état que d'une analyse *en moyenne*. Il est possible qu'entre les premières et les dernières périodes une différence importante existe. Les graphiques de la figure 8 retracent l'évolution du prix de vente au cours du temps pour tous les groupes et tous les traitements.



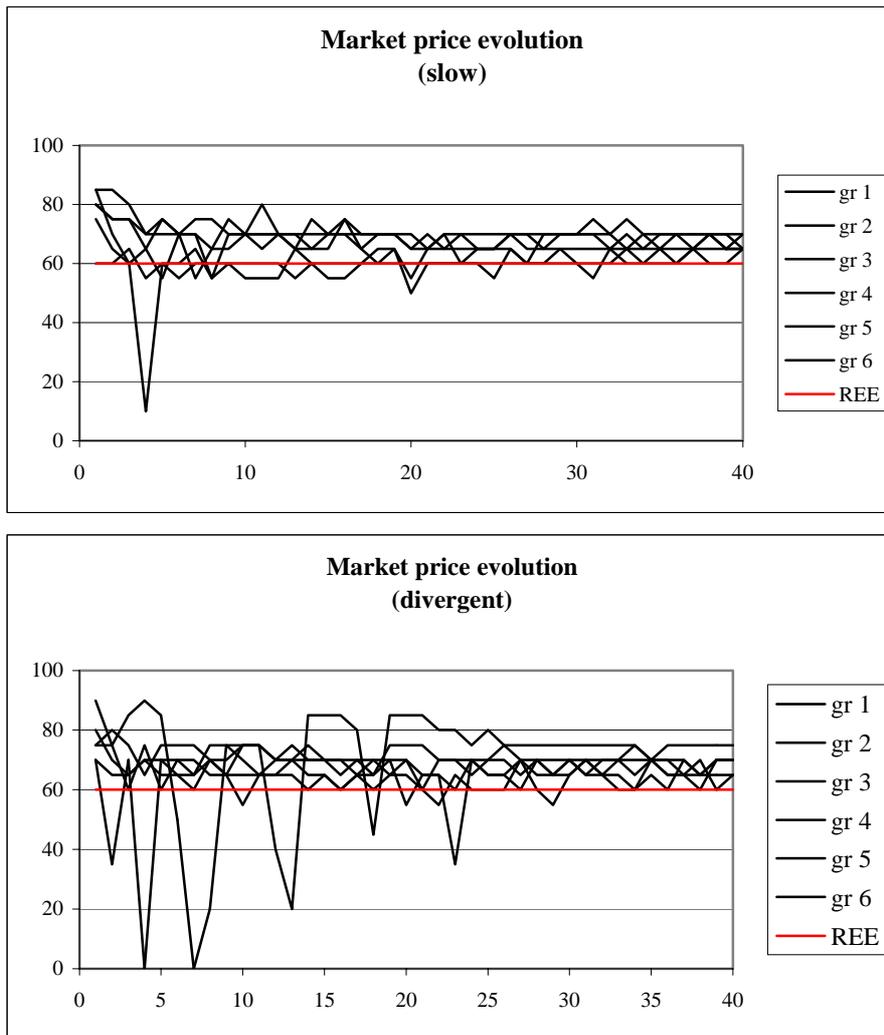


Figure 6: Evolution du prix de vente et prix d'anticipations rationnelles

Sur chaque graphique apparaissent en différents niveaux de gris les évolutions des prix de vente dans chaque groupe et en rouge l'équilibre d'anticipations rationnelles (EAR). Dans tous ces graphiques il y a une convergence vers l'équilibre au cours du temps. Les prix de vente réalisés rejoignent souvent l'EAR. Au cours du temps, les déviations par rapport à l'équilibre se réduisent.

Les valeurs théoriques des prix des équilibres EAR, oligopole et collusion peuvent être comparées aux prix réalisés. Pour le cas de la convergence rapide, une seule valeur apparaît pour l'équilibre d'oligopole ou de collusion. Cette valeur est en fait la même pour les 2 équilibres du fait de la définition de l'amplitude des intervalles de prix.

L'équilibre de concurrence oligopolistique s'obtient par la maximisation du profit individuel de chaque sujet et sous l'hypothèse de symétrie des joueurs. Nous dérivons la fonction de profit individuel \mathcal{J}_i par rapport à la production individuelle q_i . La variable prix dépend de la production totale du marché. La résolution de ce programme nous fournit pour chaque sujet i la production individuelle q_i en fonction des autres q_{-i} . Par symétrie, les sujets ont des productions individuelles d'équilibre égales : $q_i=q, \forall i$, et cette relation nous permet de résoudre le système facilement et de trouver le prix de vente correspondant.

Pour calculer l'équilibre collusif, nous maximisons le *profit joint* du groupe par rapport à toutes les productions individuelles. La même condition de symétrie tient pour les productions individuelles et permet de résoudre le système.

D'une manière générale, les résultats du tableau suivant restent seulement descriptifs et doivent aussi être considérés avec précaution, puisque nous n'avons pas encore testé la significativité de ces résultats, en raison du faible nombre de données indépendantes (des répliques des différents traitements sont prévues).

<i>équilibre le plus proche</i>	<i>fast</i>	<i>slow</i>	<i>divergence</i>
EAR	60 (32%)	60 (28%)	60 (14%)
Oligopole	65 ⁻	65 (27%)	65 (62%)
Collusion	65 ⁺ (26,2%)	75 (8%)	80 (24%)
indétermination	(37,5%)	(35%)	

Tableau 12: Prix de vente en fonction du type de marché et fréquences des équilibres les plus proches

Le tableau 12 a été construit en déterminant, à chaque période, le prix théorique le plus proche du prix réalisé. Les pourcentages entre parenthèses indiquent l'occurrence de chaque équilibre dans l'expérience. La ligne *indétermination* indique le pourcentage des cas où l'on n'a pas pu trancher entre deux équilibres : les différences du prix réalisé par rapport aux prévisions théoriques étaient identiques. Au cours du temps, nous ne pouvons pas conclure à un rapprochement de l'EAR (les pourcentages pour les 20 premières périodes sont identiques aux 20 périodes suivantes). Il apparaît que le prix de vente réalisé est plus proche de la solution oligopolistique que de la solution d'EAR, sauf pour le cas de convergence lente.

Le calcul de l'indice de succès prédictif défini dans la section précédente pourra nous aider à évaluer cette conclusion partielle.

La taille relative de la zone de prédiction est ici de $a = 0,047$ (il y a un seul prix parmi 21 qui constitue le prix théorique). Nous retenons un critère de convergence large : les aires de prédiction sont les intervalles de convergence, d'amplitude 10 (qui incluent donc 3 prix sur 21) et donc $a = 14\%$. Nous calculons donc les fréquences de réussite pour chaque traitement (r). Le tableau 13 présente les résultats de ces calculs et du calcul de m pour tous les traitements. Puisque a est le même pour tous les traitements, l'analyse du succès prédictif peut se ramener à l'analyse des fréquences de succès.

	<i>fast</i>	<i>slow</i>	<i>divergence</i>
r	80,3%	83,75%	79,1%
a	14%	14%	14%
m	66,3%	69,75%	65,1%

Tableau 13: Mesure large du succès pour les prix de vente

Ce tableau présente une convergence très marquée du prix de vente dans tous les traitements. A nouveau, on constate le succès de la convergence dans le cas de divergence théorique.

Le succès de cette convergence en prix réalisés est très corrélé avec le succès de la convergence en quantités. Avec les analyses précédentes, nous avons essayé, d'une part, de confirmer les résultats de la partie précédente, d'autre part, de voir si le suivi de l'évolution du prix de vente ne serait pas une tâche plus facile pour les sujets expérimentaux : en effet, des conclusions plus "lisibles" se détachent de cette analyse plutôt que du suivi des quantités.

6. Conclusion

Les expériences présentées dans cet article sont destinées à tester l'hypothèse de coordination par les croyances et la convergence vers l'équilibre dans un modèle cobweb. Les sujets devaient prendre deux types de décisions : une décision de production et une prévision de prix.

La prévision de prix était exigée afin d'inciter les agents à révéler leurs "vraies" croyances. Contrairement à nos attentes, les sujets n'ont pas choisi souvent la meilleure réponse en quantité à leur prévision de prix (section 4.2.). Il est alors important d'analyser en profondeur

la décision de production (section 5.1.), parce qu'elle contient les croyances des sujets sur l'équilibre et donc la prévision de prix ne révèle pas les croyances connectées au marché, mais plutôt un équilibre d'un jeu indépendant. Cette déconnexion pourrait être apparente, et découler de la stratégie des sujets. Par le passé, dans les jeux à la Nagel, les *gagnants* étaient systématiquement des sujets qui savaient que les autres faisaient des erreurs et donc annonçaient leurs choix compte-tenu de cela, et non des calculs qui supposent la rationalité parfaite. Il apparaît donc que les résultats concernant la prévision de prix sont très intéressants dans la mesure où ils révèlent le choix d'une même stratégie, qui peut ne pas conduire à l'équilibre d'AR, mais qui fait état d'une parfaite coordination intra-groupe (les sujets s'écartent tous de l'équilibre mais dans une direction commune). Dans cette situation, intervient une convergence vers un équilibre "empirique" et non vers l'équilibre théorique ; cette convergence pourrait être obtenue soit par des raisonnements divinatoires de profondeur identique mais limitée (Nagel, 1995), soit par des raisonnements divinatoires de profondeur maximale, mais par des décisions qui tiennent compte des raisonnements limités des autres sujets (section 4.1.).

La convergence est beaucoup plus nette en termes de prix qu'en termes de production individuelle. Avec une information quasi-complète des conditions du marché, les sujets sont capables d'approcher l'équilibre. Cependant l'équilibre correspond plus à l'équilibre des *beauty contest* qu'à l'équilibre théorique.

En termes de production individuelle, la proximité de l'équilibre oligopolistique et la tendance à la sous-production sont des résultats anticipés et classiques. Les décisions de production sont assez volatiles, mais une convergence reste visible. Bien que les instructions identiques et la connaissance commune de ce fait avait placé les sujets dans des conditions de prise de décision identiques, nous remarquons des comportements de productions hétérogènes.

Peu de corrélations existent entre la décision de production et l'anticipation du prix.

Les graphiques de la figure 9 présentent le prix moyens pour les 6 groupes :le prix de vente établi sur le marché, le prix moyen prédit et le prix qui aurait prévalu si le calcul du prix de vente se serait fait en tenant compte uniquement des prévisions de prix (Hommes, 2002). Le dernier prix se calcule comme suit : à chaque prédiction du prix devrait correspondre une décision de production qui est la meilleure réponse citée précédemment. La somme de ces productions de meilleure réponse donne la quantité totale de meilleure réponse qui sera

vendue sur le marché au prix qui s'établit par la confrontation avec la courbe de demande du marché. Ce prix est le prix induit par la meilleure réponse.

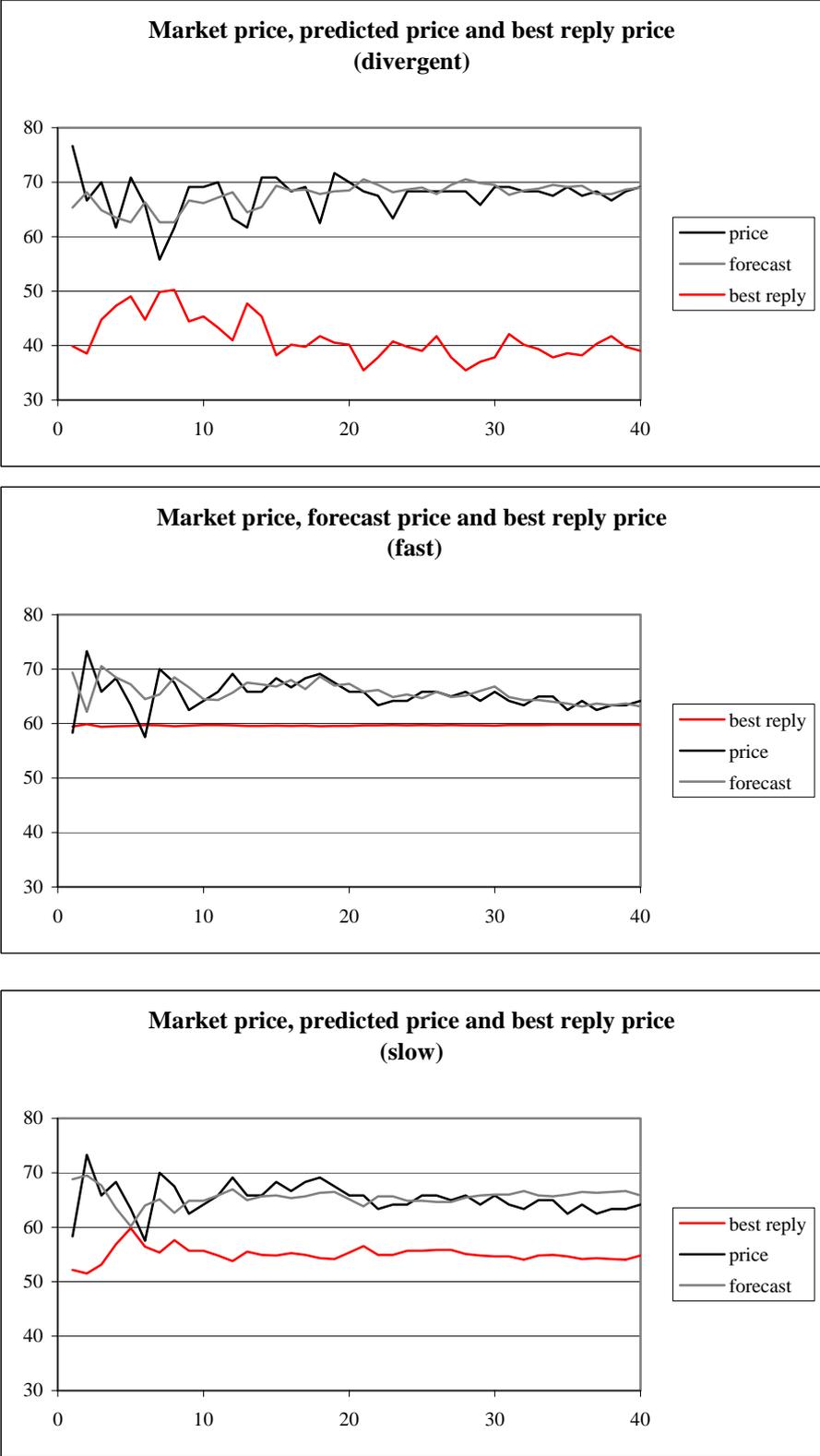


Figure 7: Prix de vente, prix moyen anticipé et prix de meilleure réponse

Les prix de vente font état d'un succès prédictif fort. Les sujets se coordonnent entre eux pour les anticipations des prix et dévient dans le même sens par rapport à la théorie. Dans le cas *fast*, à la différence du cas de la production individuelle, où les écarts individuels par rapport à la théorie sont importants et structurels, dans le cas de la prévision du prix les écarts se résorbent avec le temps. Dans le cas de divergence, les sujets restent coordonnés à l'intérieur du groupe mais loin de la meilleure réponse. Dans ce marché, si nous gardons l'hypothèse de déconnexion entre les deux décisions, le prix réalisé n'est pas *sensible* aux anticipations de prix.

Nous concluons donc que la convergence se réalise dès lors que la condition théorique est remplie. Dans le cas divergent, cette convergence se réalise par la coordination des croyances. D'autres expériences sont en cours pour compléter ces observations; mis à part les réplique des traitements déjà réalisés, un traitement de divergence sans prévisions est envisagé, afin de voir si, sans les prévisions, nous observons aussi une convergence dans le cas divergent.

Remerciements

Nous remercions Roger Guesnerie, pour les discussions sur la spécification des expériences et pour le financement de celles-ci ; Bodo Vogt et Thorsten Hens, pour les suggestions dans la mise en place de ces expériences; Olivier Favereau, pour ses commentaires lors de l'ESNIE 2003, ainsi que les participants à la Summer School in Experimental Economics, Jena, 2002, et au ENDEAR Workshop, Amsterdam, février 2003, pour des commentaires et remarques très utiles. Nous remercions particulièrement Kene Boun My, qui a programmé nos expériences et a supervisé les sessions.

Bibliographie

Arifovic, J. (1994) Genetic algorithm learning and the cobweb model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18, 3-28

Binmore, K. (1987) Modelling rational players: Part 1. *Economics and Philosophy*, 3, 17-214

Bray, M. M. and Savin, N. E. (1986) Rational expectations equilibria, learning and model specification. *Econometrica*, 54, 1129-1160

Guesnerie, R. (1992) An exploration of the educative justifications of the rational expectations hypothesis. *American Economic Review*, 82, 1254-1278

Hommes, C. H. , Sonnemans, J. and van de Velden, H. (2000) Expectation formation in an experimental cobweb economy. In *Interaction and Market Structure, Essays on Heterogeneity in Economics, Berlin/Heidelberg* (eds D. Delli Gatti, M. Gallegati and A. Kirman), Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 884, 253-266, Springer Verlag

Hommes, C. H., Sonnemans, J., Tuinstra, J. and van de Velden, H. (2002) Learning in cobweb experiments. *CeNDEF Working Paper Series*, 02-06, Universiteit van Amsterdam

Holt, C. A and Villamil, A.P. (1986) A laboratory experiment with a single person cobweb. *Atlantic Economic Journal*, 14, 51-54

Davis, D. and Holt, C. (1993) *Experimental Economics*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey

Muth, J. F. (1961) Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica*, 29, 315-335

Nagel, R. (1995) Unraveling in Guessing Games: An Experimental Study. *American Economic Review* 85(5), 1313-1326

Selten, R.(1991) Properties of a measure of predictive success, *Mathematical Social Sciences*, 21, 153-167

Selten, R. and Krischker, S. (1983) Comparison of two theories for characteristic function experiments, in Tietz, ed., *Aspiration Levels in Bargaining and Economic Decision Making*, Springer, Berlin/Heidelberg, 259-264

Van Huyck, J., Battalio, R., Beil, R. (1990) Tacit coordination games, strategic uncertainty, and coordination failure. *American Economic Review*, 80,234-248

Wellford, C.P. (1989) A laboratory analysis of price dynamics and expectations in the cobweb model. *Discussion Paper*, 89-15, Department of Economics, University of Arizona