

JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

J.-P. MARTIN

Entreprises et prévisions rationnelles

Journal de la société statistique de Paris, tome 118, n° 3 (1977), p. 209-220

http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1977__118_3_209_0

© Société de statistique de Paris, 1977, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

ENTREPRISES ET PRÉVISIONS RATIONNELLES

J.-P. MARTIN

Chargé de cours à l'Université de Nancy II

Pour un secteur ou un marché donné, deux niveaux d'analyse peuvent être envisagés :

- celui de l'ensemble des entreprises concernées;*
- celui d'une entreprise quelconque sur ce marché.*

Les décisions de gestion des firmes appartiennent au second niveau, mais elles sont dépendantes des appréciations des états du premier niveau que se font les dirigeants.

Et leur mise en œuvre en détermine les états à venir.

La relation entre la firme et son environnement est ainsi à double sens. Elle est considérée ici :

- d'un point de vue théorique de type « compréhensif » en allant de l'ensemble vers l'élément;*
- d'un point de vue théorique opérationnel (théorie du contrôle) qui respecte la rationalité supposée, en allant de l'élément vers l'ensemble.*

For a sector or a given market, two levels of analysis can be considered : one relating to the whole of the firms concerned and the other one relating to some firm on this market. The decisions of management of these firms belong to the second level but they depend on the estimates of the situation of the first level that the rulers make : the carrying out of these decisions determines the future situation.

The relation between the firm and its surrounding comprises two ways. It is considered here : from a theoretical point of view of a type of « rational expectations » going from the whole to the element and from an operational theoretical point of view in going from the element to the whole.

Für einen gegebenen Wirtschaftssektor können zwei Gesichtspunkte für eine Analyse in Betracht gezogen werden : a) Alle Einheiten, die diesen Wirtschaftssektor bilden, b) ein einziges Unternehmen, das diesem Sektor angehört. Die Entscheidungen hinsichtlich der Geschäftsführung gehören zu dem zweiten Gesichtspunkt; aber sie sind abhängig von der Bewertung nach dem ersten Gesichtspunkt, der der Beurteilung der leitenden Persönlichkeiten unterliegt. Diese Entscheidungen sind wesentlich für die Zukunft.

Die Beziehung der Firma zu ihrem Milieu hat also einen doppelten Sinn. Sie wird hier betrachtet unter zwei Gesichtspunkten :

Unter dem theoretischen Gesichtspunkt des « Verstehens », in dem man von der Gesamtheit zur « Einzelheit » geht, und andererseits in dem man von der Praxis d.h. von der Einzelheit zur Gesamtheit geht.

Les structures de l'entreprise dépendent de la conception des décisions et de la circulation des informations. En théorie de l'organisation, la forme la plus ancienne (1) s'efforce de réunir l'autorité et l'élaboration des décisions; puis l'accent est mis sur l'acceptation des décisions et les aspects psycho-sociologiques (2); enfin se développe une vision fondée sur les systèmes de relations entre tous les éléments, vision englobante des phénomènes. Dans ce dernier courant de pensée, J. Forrester (3) compare la gestion traditionnelle de l'entreprise à la conduite d'une voiture dont le pare brise est occulté, c'est-à-dire en n'utilisant que l'information rétrospective (rétroviseur) et immédiate (vitres latérales). L'importance de l'information prospective pour toutes les décisions n'a guère besoin d'être rappelée, et l'étude de la conjoncture s'impose à l'entreprise autant qu'à l'individu.

La théorie de la décision tient compte de l'inéluctable fragilité des informations sur le futur en supposant que des probabilités peuvent être affectées aux éventualités possibles. Les choix sont alors effectués de façon risquée. Cependant des convergences apparaissent, au plan de la collectivité. Les comportements individuels suscitent et structurent un comportement de l'ensemble économique, qui leur donne en retour une cohérence où germe le progrès.

En théorie économique, parmi les investigations relatives au rôle des informations et à la formation des prévisions, le concept des « anticipations rationnelles » est largement étudié; il fait l'objet de la première section. En gestion, une dialectique intellectuelle entre la théorie et les applications pratiques est nécessaire, et la présentation des anticipations sous forme concrète constitue la seconde section. Enfin la dernière section, revenant aux concepts de l'analyse des systèmes abordée par J. Forrester, montre que des instruments existent pour une application.

1. LES ANTICIPATIONS RATIONNELLES

Ce concept, introduit par J. F. Muth (4), est explicitement orienté vers l'étude et l'explication des fluctuations économiques, c'est-à-dire vers la conjoncture. C'est ainsi la variation, l'évolution de court terme qui est examinée. Et l'explication des changements passe par la connaissance des mécanismes de prévision utilisés par les agents.

Observant que la moyenne des prévisions dans une industrie est plus précise que les simples extrapolations, et au moins aussi exacte que les résultats de modèles économétriques (5) (6), J. F. Muth s'oriente vers l'idée d'une formation « compréhensive » ou intelligente des anticipations des entreprises. Il énonce que toute l'information disponible dans l'économie est utilisée, car elle est rare, et que les prévisions dépendent spécifiquement de la structure du système entier. Alors la prévision bâtie sur la préhension de toute l'infor-

1. Rôle de la hiérarchie (Fayol) et rôle de la compétence (Taylor).

2. École dite des « relations humaines ».

3. J. FORRESTER, « Industrial dynamics », M. I. T., 1961.

4. J. F. MUTH, « Rational expectations and the theory of price movements », *Econometrica*, July 1961, pp. 315-355.

5. (*Ibid.*), « Averages of expectations in an industry are more accurate than naive models and as accurate as elaborate equations systems, although there are considerable cross-sectional differences of opinion », p. 316.

6. Constatation moderne, comme en témoigne la référence : I. B. IBRAHIM et T. OTSUKI, « Forecasting GNP components using the method of Box and Jenkins », *Southern Eco. Journal*, January 1976.

mation sur les possibles (le futur) est essentiellement la même que celle de la théorie économique pertinente ⁽¹⁾. Cette hypothèse ne signifie pas que toutes les firmes effectuent exactement les mêmes prévisions ⁽²⁾, mais que pour le même ensemble d'informations disponible, leurs opinions (subjectives) sur les résultats probables tendent vers la même distribution de probabilité que la prévision (objective) de la théorie.

Ces anticipations objectives sont appelées « rationnelles ». Elles sont liées au système dans lequel elles sont émises, dont la théorie pertinente n'est autre qu'un modèle structurel et explicatif. Pour un modèle complet du système, qu'en tant qu'ensemble d'entreprises on pourra appeler « marché » (i. e. incluant les relations avec l'environnement), les prévisions rationnelles le seront de façon parfaite. Sous cette forme ultime, le concept ne serait qu'un truisme. Cependant, puisque la théorie n'est pertinente qu'autant qu'elle sait dégager l'essentiel, le concept est enrichi de la fonction compréhensive de l'intuition, liée à l'expérience, qui sait extraire d'une information rare les données momentanément importantes ⁽³⁾. L'hypothèse des anticipations rationnelles est donc un moyen d'entrer dans un raisonnement circulaire où l'état à venir du tout dépend évidemment de la majorité qui se dégage des prévisions de chacune des parties qui le composent. La rationalité microscopique y est fondée sur la conformité à l'évaluation globale, macroscopique.

2. LES ANTICIPATIONS RÉALISÉES

L'étude des phénomènes conjoncturels est basée sur les chroniques, suites de valeurs quantitatives, qui représentent l'évolution des variables économiques mesurées. Puisqu'il faut attendre leur réalisation pour que les niveaux et variations soient mesurables, ces chroniques ne peuvent correspondre aux anticipations rationnelles, ni servir aisément à les approcher.

Par contre, on dispose des résultats d'une enquête systématique sur l'opinion des chefs d'entreprise, appelée enquête de conjoncture, qui est parfaitement adaptée à l'étude des évolutions de court terme. Elle fait appel à l'expérience et à l'intuition des responsables dans les entreprises, i. e. elle est intimement liée au contexte de la prise de décision. Elle fournit directement une information prospective (ex ante).

Sa formulation est qualitative. Ses résultats sont les proportions des opinions optimistes, indécises ⁽⁴⁾ et pessimistes des chefs d'entreprises relativement à des questions ⁽⁵⁾ concernant des variables d'état (i. e. actuelles) : état des stocks, état de la demande, et des variables de prédiction : production prévue, prix attendus.

1. J. F. МУТН, *op. cit.*, « the way expectations are formed depends specifically on the structure of the relevant system describing the economy ».

2. Ce qui est une hypothèse théorique classique pour les marchés parfaits, comme par exemple en théorie du portefeuille (W. SHARPE).

3. La modification des structures dans le temps rend les modèles incomplets. Sur ce thème, l'économie découvre actuellement les idées de R. Thom sur la « morphogénèse »...

4. Il semble être dans la nature des réponses que l'opinion de stabilité se confonde aussi avec l'absence d'opinion, d'où le terme « indécis ».

5. Pour la production prévue, par exemple : « Estimez-vous qu'au cours des trois prochains mois, la tendance de la production dans votre entreprise sera, abstraction faite des variations saisonnières, à l'augmentation, à la stabilité, à la diminution. »

Cette enquête est, depuis 1964, commune aux six pays de la C. E. E. Des comparaisons internationales sont ainsi rendues possibles. Le champ de l'enquête couvre actuellement l'ensemble des industries ⁽¹⁾ et les résultats mensuels sont détaillés en :

- industries des biens de production;
- industries des biens intermédiaires;
- industries des biens de consommation.

Une pondération de nature statistique réalise l'homogénéité des diverses entreprises (effets de taille) sur ces échantillons.

2.1. La correspondance avec les anticipations rationnelles

Les anticipations individuelles des firmes (opinions) sont exprimées sous la forme :

$$OP_m^i(t)$$

pour $m = 1$ ou 2 ou 3 , OP est l'opinion de type (m) de l'entreprise (i) pour la date (t).

La réponse ou opinion agrégée se présente sous forme ternaire, et compte tenu des pondérations d'échantillonnage, on peut admettre qu'elle figure le centre de gravité (plus précisément le barycentre) de la population concernée par l'enquête; soit :

$$\overline{OP}_m(t) = \sum_i \omega_i OP_m^i(t)$$

avec $m = 1, 2, 3$ et $\forall i$ (champ total), $\forall t$

Si on exprime l'hypothèse de J. F. Muth, qui contenait la présence d'une perturbation aléatoire dans les prévisions individuelles, il vient :

$$OP_m^i(t) = \widetilde{OP}_m^i(t) + u_m^i(t)$$

où $\widetilde{OP}_m^i(t)$ est un élément de la composante rationnelle, et $u_m^i(t)$ la perturbation aléatoire, propre à la firme (i) au temps (t), et relative au type d'opinion (m). Les erreurs d'appréciation peuvent ainsi être asymétriques selon ces types ⁽²⁾.

La réponse agrégée s'écrit alors :

$$\overline{OP}_m(t) = \sum_i \omega_i \widetilde{OP}_m^i(t) + \sum_i \omega_i u_m^i(t)$$

et si le champ de l'enquête est suffisamment bien spécifié, la théorie pertinente implicite est la même pour toutes les firmes, d'où :

$$\widetilde{OP}_m^i(t) = OP_m^i(t), \forall i.$$

1. Sauf les industries alimentaires et extractives.

2. Cette asymétrie est démontrée par M. FANSTEN, dans « Introduction à une théorie mathématique de l'opinion », *Annales I.N.S.E.E.*, 21.

Et puisque $\sum_i \omega_i = 1$, on a :

$$\overline{OP}_m(t) = \widehat{OP}_m(t) + U_m(t) \quad (E1)$$

où $\overline{OP}_m(t)$ est l'expression concrète des anticipations rationnelles,

$\widehat{OP}_m(t)$ est l'anticipation rationnelle théorique sur le marché,

et $U_m(t)$ est une variable aléatoire (somme de variables aléatoires qu'on peut d'ailleurs supposer être de même loi).

2.2. L'approche de la structure explicative

Une procédure d'estimation de type « friedmanien » pourrait alors être envisagée pour repérer la structure de cette composante rationnelle (qui semble d'un type proche de celui du « revenu permanent »). Une formulation en modèle à retards échelonnés conviendrait. Cette démarche est maintenant classique (*cf.* M. Nerlove) et d'autre part conduirait plutôt

à des investigations sur la nature de la théorie sous-jacente à l'élaboration du terme $\widehat{OP}_m(t)$, exprimé alors en fonction de variables exogènes. Par exemple, soit $\nu_k(t)$ le niveau atteint par la variable (k) au temps (t); on estimerait les coefficients $\beta_k(\tau)$ dans l'expression :

$$\overline{OP}_m(t) = \sum_{\tau} \beta_k(\tau) \cdot \nu_k(t - \tau) + \varepsilon_A(t)$$

où τ est un indice de décalage dans le temps, et $\varepsilon(t)$ un aléa. Il est encore possible de compliquer ce modèle de base. Cependant, une difficulté demeure : l'une des chroniques est de nature quantitative, tandis que l'autre résulte d'un modèle qualitatif à trois modalités. Il semble ainsi délicat de les régresser directement l'une par rapport à l'autre. La solution (triviale) paraît être de transformer la nature de l'une des séries, et de se placer soit dans le domaine quantitatif, soit en qualitatif pur ⁽¹⁾.

Une procédure de codage pourrait être envisagée pour réaliser la transformation souhaitée, ce code établissant la correspondance entre les deux domaines. L'optimalité de cette correspondance (sa pertinence) resterait à démontrer ⁽²⁾.

On pourrait également considérer les valeurs $\overline{OP}_m(t)$ comme des probabilités *a priori* d'apparition, affectées à des niveaux de variation des variables quantitatives anticipées. En effet,

$$\sum_{m=1}^3 \overline{OP}_m(t) = 1, \forall t$$

Une utilisation en ce sens des données d'opinion a été faite par H. Theil ⁽³⁾.

On voit par ailleurs, étant donnée l'équation (E1), que cette probabilité reste affectée d'une incertitude fondamentale *a priori*. Le recours à une méthode de type « bayésien » paraît ici naturel ⁽⁴⁾.

1. On peut trouver une vue d'ensemble (synthétique) sur ce thème dans : « Qualitative response models » de T. AMEMIYA, *Annals of economic and social measurement*, vol. 4, n° 3, été 1975, pp. 362-372.

2. J. C. MASSON, thèse de doctorat, I.S.U.P. : recherche d'un codage optimal par analyse factorielle des correspondances.

3. H. THEIL, « Economics and information theory », North Holland Elsevier, 1969.

4. R. M. CYERT et M. H. DE GROOT, « Rational expectations and bayesian hypothesis », *Journal of Political Economy*, n° 3, 1974.

2.3. *L'aspect dynamique du processus implicite*

Un certain nombre de constructions théoriques en sciences économiques ne semblent pas pouvoir correspondre à la « théorie pertinente » implicite aux prévisions rationnelles. En effet, dès lors que les variations de courte période sont ignorées de l'analyse, celle-ci ne peut servir de cadre de prévision. Ainsi, les théories statiques, qui postulent un équilibre plus ou moins général comme condition initiale ou terminale, sans que les cheminements vers cet équilibre soient explicités précisément; la théorie pertinente, c'est-à-dire celle qui explique la réalité, doit donc être dynamique. Elle ne saurait non plus être exagérément normative, c'est-à-dire que ses hypothèses ne doivent pas être celles d'un marché idéal trop éloigné de la réalité.

3. PRÉVISION ET RÉGULATION

On peut formaliser la même hypothèse à l'aide d'autres outils conceptuels. Le caractère foncièrement dynamique des anticipations incite à les inclure dans une étude des processus, en reconnaissant un rôle fondamental au temps. Dans le cadre d'un système économique de liberté des marchés, ceci conduit à l'examen des relations entre les volontés des « unités actives » (au sens de F. Perroux), ici les entreprises, et l'évolution de l'ensemble qu'elles constituent.

Soit $S = [e_1, \dots, e_n]$ un marché composé de (n) entreprises (c'est-à-dire ici le champ de l'enquête).

La liberté d'action de chaque élément de ce système est sa variété. Elle est ici réduite, en posant l'hypothèse de rationalité, à la recherche continue de l'optimisation du comportement individuel, relativement à un ensemble (η) d'objectifs que la théorie pertinente, générale sur S , rend également commun à chaque élément.

On a donc, pour chaque entreprise (e_i) un sous ensemble (η_i) d'états souhaités, ou cible; un jeu de variables de commandes possibles (z_i) et une information sur les conditions du marché, soit (\hat{s}), état du système englobant. Chacune essaiera de réaliser

$$MAX_{(z_i)} \{f(\eta_i, z_i, \hat{s})\},$$

sous ses contraintes données.

On voit que (\hat{s}) est un avatar de l'anticipation rationnelle. En effet, celle-ci représente la composante issue de la théorie qui est communément admise, et donc la composante la plus probable de l'anticipation des états du marché. Les données (\hat{s}) au cours du temps représentent donc ce que le marché deviendra, si la théorie manifeste une compréhension suffisante du réel (i. e. y compris les états critiques). Et leur interprétation par les données d'opinion s'en approche, on l'a vu, à une perturbation aléatoire près.

3.1. *Les écarts significatifs pour la gestion*

Au point de vue de la gestion du court terme au sein de l'entreprise, le contrôle des écarts entre les anticipations individuelles de la conjoncture (nets de la « politique » à terme

plus éloigné) et les anticipations globales du marché porteur (supposées rationnelles), constitue un moyen de régulation. La convergence introduite par l'hypothèse fait également déboucher ces décisions microscopiques sur une régulation au plan macroscopique.

L'étude des écarts est d'ailleurs une méthode privilégiée dans l'analyse des prévisions; on vérifie ainsi la précision des modèles, en comparant leurs résultats prévisionnels avec les réalisations correspondantes, sur des périodes données. On dispose de critères tels que minimiser la moyenne des carrés de l'erreur de prévision

$$RMSE = (N^{-1} \cdot \sum_{t=1}^N (P_t - R_t)^2)^{1/2}$$

où P_t est la valeur prévue en (t) , et R_t la valeur réalisée.

Ou encore le coefficient de H. Theil (1) :

$$U = (\sum(\Delta P_t - \Delta R_t)^2 / \sum(\Delta P_t)^2)^{1/2}$$

tel que $U = 0$ équivaut à une prévision parfaite.

En admettant, avec les arguments présentés par M. Fansten (2), que le solde des réponses optimistes et pessimistes pour chaque question constitue le meilleur indicateur empirique de l'opinion, ces soldes à chaque instant du temps sont les éléments d'une chronique quantitative indiquant l'évolution à venir. Au plan des réalisations, l'application de l'opérateur « différence » fournit une mesure comparable pour les variations. Ainsi, des comparaisons peuvent être effectuées par les entreprises qui, à chaque instant, connaissent :

— (m) anticipations individuelles de l'état de l'élément (j) dans (π) périodes, soient :

$$a_j^i(t + \pi), \forall j \in (1, \dots, m)$$

— l'état actuel de (n) composantes internes :

$$e_k^i(t), \forall k \in (1, \dots, n)$$

— (m) anticipations globales pour le marché, dans (π) périodes, décalées du délai θ nécessaire à la compilation et la publication des résultats de l'enquête :

$$A_j(t + \pi - \theta), \forall j \in (1, \dots, m)$$

— l'appréciation globale de l'état du marché, également décalée de θ

$$E_k(t - \theta), \forall k \in (1, \dots, n).$$

L'évolution des variables réelles est connue au temps (t) après un délai (τ) de calcul et de publication des indices, soit :

— variation sur le marché $\Delta_j(t - \tau), \forall j \in (1, \dots, m)$

— variations internes $\partial_j^i(t), \forall j$, connues sans délai par la firme.

Le problème alors posé à l'une quelconque des firmes du marché est de choisir les commandes qui, en régulant son évolution de court terme, vont lui permettre de rationaliser

1. H. THEIL, « Applied economic forecasting », (N. H. E.), 1966.
2. M. FANSTEN (article cité).

ses propres anticipations. Divers écarts peuvent éclairer la prise de décision dans ce contexte :

$$- \varepsilon_k^i(t) = E_k(t - \theta) - e_k^i(t - \theta), \quad \forall k \in (1, \dots, n)$$

écart (en variation) des états appréciés par le marché et de ceux de la firme (i), pour les (n) variables internes; écart connu en (t). Il représente la particularité de l'évolution de cette entreprise par rapport au « centre de gravité » du marché, c'est-à-dire qu'il est un indicateur de performance individuelle.

$$- \varepsilon_j^i(t) = A_j(t + \pi - \theta) - a_j^i(t + \pi - \theta), \quad \forall j \in (1, \dots, m)$$

est un écart de cible (anticipations) entre la firme (i) et le marché. Compte tenu de l'hypothèse de rationalité des prévisions agrégées, cet écart est un indicateur d'irrationalité des prévisions de la firme, avant régulation.

$$- G_j(t) = \Delta_j(t - \tau) - A_j(t - \tau - \pi), \quad \forall j \in (1, \dots, m)$$

et

$$g_j^i(t) = \partial_j^i(t) - a_j^i(t - \pi), \quad \forall j \in (1, \dots, m)$$

qui sont respectivement les erreurs de prévision (par rapport aux réalisations correspondantes) pour le marché et pour la firme.

L'hypothèse de rationalité implique alors que :

$$\varepsilon_j^i(t) = 0$$

$\forall j$ et $\forall t$ (si la firme est rationnelle), mais aussi que la théorie sur laquelle les anticipations sont formées soit pertinente, d'où :

$$G_j(t) = 0,$$

ce qui est une interprétation stricte, ou égale un bruit aléatoire de faible amplitude.

Si on écrit que les prévisions individuelles de la firme sont rationnelles dans l'expression de l'écart $g_j^i(t)$, il vient :

$$g_j^i(t) = \partial_j^i(t) - A_j(t - \pi), \quad \forall j \in (1, \dots, m),$$

ce qui signifie qu'en calculant son erreur de prévision individuelle par rapport à la prévision du marché, la firme peut apprécier les effets de ses propres décisions par rapport à l'évolution du système complet. Et puisque les états réalisés $\partial_j^i(t)$ sont dépendants de la gestion, cet écart représente alors un indicateur d'efficacité des commandes utilisées.

3.2. Théorie de la commande des systèmes

La régulation des systèmes peut être menée selon divers types de commande. Lorsque celle-ci n'utilise que la mémoire (i. e. l'information passée) et la connaissance du présent, on peut distinguer (¹) :

- la commande en boucle ouverte (open loop) qui ne retient que l'information de l'instant initial, et ignore le reste;
- la commande en boucle ouverte adaptée (open closed loop) qui est la répétition à chaque instant de l'« open loop »;

1. M. ALBOUY, « La régulation économique dans l'entreprise », Dunod, 1972, t. 2, p. 124.

— la commande en boucle fermée (closed loop) ou « feed-back », qui tient compte d'une plus ou moins longue mémoire.

La régulation dynamique de la firme dans le cadre de la rationalité vis-à-vis de son marché peut être exprimée dans cette optique comme la détermination d'une trajectoire optimale, vers une cible (condition de fin de séquence) qui est ici :

$$g_j^t(t + \pi - \theta) = 0, \text{ pour tout } j,$$

où la date $(t + \pi - \theta)$ est l'horizon de l'anticipation disponible, l'information la plus récente sur le marché étant $A_j(t + \pi - \theta)$. Cependant, la fonction d'évaluation de la firme n'a pas le même horizon temporel; soit :

$$MAX_U \left\{ \sum_{\ell=t}^{t+T} \phi(\varepsilon_k(\ell), z(\ell)) \right\}$$

évaluation bâtie sur l'indicateur des performances concurrentielles de la firme par rapport au marché, et avec $z(t)$ vecteur des variables de commande sur l'espace U duquel est cherchée l'optimisation.

On voit qu'il paraît difficile de séparer la séquence de régulation basée sur les anticipations, d'horizon $(t + \pi - \theta)$, de la séquence de calcul économique complet de la firme, à l'horizon $(t + T)$, qui exprime que les performances concurrentielles sont soumises à des conditions de plus long terme, telles que l'installation des capacités de production, et qui interfèrent avec la régulation conjoncturelle. La multiplication des contraintes qui résulterait de ces effets induits pose d'autre part le problème de la commandabilité du système ⁽¹⁾. Pourtant sous ces réserves générales et au prix de la complexité du résultat, il ne paraît pas impossible de concevoir une adaptation dynamique de la firme aux conditions du marché révélées par les anticipations.

3.3. Filtre de Kalman

La voie d'une adaptation plus maniable est encore fournie par la méthodologie de l'analyse des systèmes. On rappelle le problème qui se pose à l'entreprise : connaissant au temps (t) une information composée de l'appréciation de l'état actuel de ses variables internes $(e_k^t(t))$ et de ses propres prévisions $(a_j^t(t - \pi))$, et les états agrégés au niveau du marché $(E_k(t - \tau))$ et les prévisions rationnelles $(A_j(t + \pi - \theta))$, et enfin les variations réelles sur le marché $(\Delta_j(t - \tau))$ ainsi que la réalisation de ses propres prévisions $(\partial_j^t(t))$, la régulation consiste à modifier les anticipations *a priori* dans le sens de la rationalité. Cette adaptation se fait de façon dynamique, en utilisant les prévisions du marché qui sont le seul élément prospectif de toute l'information recensée. On détermine ainsi des estimations optimales, $\hat{a}_j^i(t)$, qui représentent les conditions de rationalité de la firme.

Soit un modèle de formation de l'information ⁽²⁾ :

$$x(k+1) = \Psi(k+1, k) \cdot x(k) + \Gamma(k)\omega(k),$$

où $\omega(k)$ est un bruit blanc, et un modèle d'observation :

$$z(k) = H(k)x(k) + \nu(k) \quad \text{où} \quad \nu(k) \text{ est un bruit blanc}$$

1. J. P. GUÉRIN, B. LAMRANI et B.-A. OUDET, « Commandabilité d'un système dynamique linéaire », *Revue Économique*, septembre 1975.

2. M. NERLOVE et S. WAGE, « Optimal adaptive forecasting » et aussi H. THEIL et S. WAGE, « Some observations... », *Management Science*, 1964, et A. BENSOUSSAN, « Utilisation du filtre de Kalman... », *Eco. App.*, 1974.

A.P. SAGE et J. L. MELSA, « Estimation theory... », M. G. HILL, 1971, p. 253.

On dispose d'une suite d'observation, $Z_k = \{z(1), \dots, z(k)\}$ à partir de laquelle on veut fournir une estimation de la valeur $x(j)$ qui n'est pas observable, soit $\hat{x}(j/k)$ (1). L'erreur d'estimation est donc :

$$\tilde{x}(j/k) = x(j) - \hat{x}(j/k)$$

et le critère pour l'estimateur est de minimiser la variance de cette erreur.

Le filtrage de Kalman permet de calculer, compte tenu de conditions imposées aux aléas $\omega(t)$ et $\nu(t)$, une estimation récurrente de $\hat{x}(j)$. Soit :

$$\hat{x}(j) = \psi(j, j-1) \hat{x}(j-1) + K(j)[z(j) - H(j)\psi(j, j-1) \hat{x}(j-1)]$$

où $K(j)$ est le gain du filtre de Kalman, soit :

$$\begin{aligned} K(j) &= V_{\tilde{x}}(j/j-1) H^T(j) [H(j) V_{\tilde{x}}(j/j-1) H^T(j) + V_\nu(j)]^{-1} \\ &= V_{\tilde{x}}(j) H^T(j) V_\nu(j) \end{aligned}$$

exprimé en fonction des variances de l'erreur d'estimation, *a priori* :

$$V_{\tilde{x}}(j/j-1) = \psi(j, j-1) V_{\tilde{x}}(j-1) \psi^T(j, j-1) + \Gamma(j-1) V_w(j-1) \Gamma^T(j-1)$$

et *a posteriori* :

$$V_{\tilde{x}}(j-1) = (I - K(j-1)H(j-1)) V_{\tilde{x}}(j-1/j-2)$$

On retient également des conditions pour l'initialisation du processus (moyenne et variance de l'estimation initiale).

La régulation de l'entreprise informée par les anticipations rationnelles peut s'insérer dans ce cadre général, en faisant :

- (observation) $A(t)$ est le solde des réponses optimistes et pessimistes pour une question donnée; on dispose d'une suite de valeurs dans le temps, soit l'ensemble

$$A_t = \{A(1), \dots, A(t)\}.$$

On peut écrire :

$$A(t) = H(t) x(t) + \nu(t)$$

où $\nu(t)$ est un bruit blanc, et où $x(t)$ est une variable de type « état du marché », non observable directement mais essentielle à une gestion consciente de la firme;

$H(t)$ représente là la fonction de mesure de $x(t)$, soit concrètement la procédure d'enquête, et théoriquement la « rationalité » des firmes interrogées.

- (formation de l'état, ou évolution) soit :

$$x(t+1) = \Psi(t+1, t) x(t) + \Gamma(t) \omega(t),$$

où

$\omega(t)$ est un bruit blanc, $\Gamma(t)$ transmet l'effet de l'aléa, et $\Psi(t+1, t)$ est la fonction de transition.

1. Cf. p. 216 : selon les valeurs de j et k , la solution concerne :
 une interpolation (lissage) si $j < k$,
 un filtrage si $j = k$,
 une prédiction (extrapolation) si $j > k$.

Dans l'application envisagée ici, les prévisions individuelles de la firme, $a_j^t(t)$, sont effectuées à partir de ses conditions ou états internes, et compte tenu de sa politique à horizon plus lointain que l'intervalle de régulation. Le jeu des décisions de courte période ne peut cependant manquer d'être dépendant des conditions du marché, de sorte que $a_j^t(t) = \gamma_j^t [x(t)]$ exprime cette relation.

On aura donc à traduire les résultats du modèle ci-dessus en termes utilisables pour la gestion, en déterminant la correspondance $\gamma_j^t(\cdot)$ entre les estimations de l'état du marché à l'horizon de régulation ($t + \pi$), et les prévisions individuelles qui fondent les décisions de l'entreprise.

Enfin, cette procédure se répète à chaque nouvelle observation $A(t)$; l'algorithme de Kalman se prête en effet autant à cette utilisation prévisionnelle de type « intervalle mobile » (i. e. estimer $\hat{x}(t_2/t_1)$ avec $t_1 = t$ et $t_2 = t_1 + T$), qu'aux formes « intervalle à base fixe » ($t_2 = t$ et t_1 fixé) et « point fixe » (t_2 fixé et $t_1 = t$).

On notera que W l'estimateur classique de Kalman dépend d'hypothèses de linéarité, mais qu'il peut être généralisé ⁽¹⁾.

En définitive, depuis l'article de J. F. Muth de 1961, on peut recenser une abondante littérature sur les anticipations rationnelles, en liaison avec divers domaines de la science économique :

- estimation du taux d'inflation anticipé, par les taux d'intérêt (équation de Fisher) : J. Rutledge, M. S. Feldstein... ⁽²⁾;
- prévisions de prix de marché : R. M. Lenthold... ⁽³⁾;
- anticipations de revenu : A. Zellner... ⁽⁴⁾;
- anticipations des taux d'intérêt : F. Modigliani et R. J. Schiller ⁽⁵⁾;
- mécanismes des modèles économétriques : C. R. Nelson ⁽⁶⁾...

Parallèlement, les méthodes d'analyse de gestion, s'appuyant sur l'extension des moyens de calcul et d'information (capacités et structures des fichiers de données en informatique), ont développé les emprunts aux techniques utilisées dans la régulation des systèmes physiques.

L'analyse de l'entreprise en tant que système conduit, par son intégration dans son environnement (le marché), à mettre en évidence son rôle microscopique dans la régulation du domaine macroscopique qui l'englobe, et dont la conjoncture est l'expression traditionnelle de l'évolution.

Au présent niveau de développement de certaines entreprises, qui excèdent en pouvoir et en taille la dimension de bien des nations, la gestion n'est plus éloignée de l'économie

1. G. ZWINGELSTEN et A. POUJOL, « Estimation de paramètres de réacteurs nucléaires par le filtrage de Kalman étendu », *Revue d'Informatique et de R. O.*, série jaune, avril 1976.

2. J. RUTLEDGE, « A monetarist model of inflationary expectations », 1974.

M. S. FELDSTEIN, « Inflation, specification bias... », *Jal of Pol. Economy*, Novembre-Décembre 1970.

R. E. LUCAS et L. A. RAPPING, « Price expectations ans the Phillips curve », *American economic review*, June 1969.

3. R. M. LENTHOLD, A. J. Mc CORMICK, A. SCHMITZ et D. G. WATTS, « Forecasting daily hog prices... », *Journal of the American statistical Society*, March 1970.

4. A. ZELLNER, D. S. HUANG et L. C. CHAU, « Further analysis of the short run consumption function... », *Econometrica*, July 1965.

5. F. MODIGLIANI et R. J. SCHILLER, « Inflation, rational expectations and the term structure of interest rates », *Economica*, February 1973.

6. C. R. NELSON, « Rational expectations and the predictive efficiency of economic models », *Journal of Business*, July 1975.

politique. Les concepts et les sujets d'étude sont devenus communs pour nombre d'analyses ; ainsi l'économie industrielle ⁽¹⁾, jalonnant la voie d'une « méso-économie ⁽²⁾ », enrichit-elle la gestion en évitant les exclusives dans ses relations avec les théories économiques. Et le rôle de l'information a des incidences sur la plupart de ces dernières, en ce que leur objet réel est bien l'explication des comportements ⁽³⁾.

Sans remettre la liberté individuelle de décision en cause, cette analyse, tout en reconnaissant la part des hypothèses parmi lesquelles le coût de l'information peut être inséré ⁽⁴⁾, tente d'éclairer le contexte de l'élaboration des choix, en montrant leur interdépendance sur le marché. Et les instruments proposés n'ignorent pas cette incertitude fondamentale sans laquelle, remarquait Shackle, la décision n'a aucun sens.

1. A. JACQUEMIN, « Économie industrielle européenne », Dunod 1975 p. 254.

2. L. GILLARD, « Premier bilan d'une recherche sur la méso-analyse », *Revue Économique*, mai 1975.

3. Sur ce thème : J. MARSHAK et R. RADNER (théorie des équipes), depuis l'article de J. MARSHAK, « Elements for a theory of teams », *Management science*, vol. 1, 1955.

4. F. R. DARBY, « Rational expectations under conditions of costly information », *Journal of Finance*, June 1976.