iae
aix-en-provence
institut d'administration
des entreprises
université d'aix-marseille III
france

fnege
fondation nationale
pour l'enseignement
de la gestion des entreprises
france

10 Years of Marketing Science in Action

Dix années de pratique du Marketing Scientifique

20ME Séminaire International de Recherche en Marketing

20TH International Research Seminar in Marketing

1993

actes du séminaire
international
de recherche
en marketing

proceedings of
the international
research seminar
in marketing

SYSTEMES EXPERTS EN APPELS D'OFFRES

Jany MOCELLIN
Ingénieur École Polytechnique Fédérale
Licencié ès Sciences Commerciales et Industrielles
Docteur ès Sciences Economiques

Département d'Economie Commerciale et Industrielle
Université de Genève
102, boulevard Carl Vogt
1211 GENEVE

Résumé: Nous nous proposons d'exposer les grandes lignes de la méthode que nous avons mise au point pour concevoir et réaliser un système expert en gestion, en particulier pour les marchés fonctionnant sous le régime des appels d'offres.

Nous commençons par décrire sommairement le problème de l'appel d'offres [STARK 79].

Nous présentons ensuite la stucture de notre modèle [MOCELLIN 92-1] qui se situe dans la ligne des grandes idées développées sur les systèmes experts et l'intelligence artificielle [LUCAS 91, HART 88, ROLSTON 88, LEVINE 86, WATERMAN 86, WINSTON 86, CHARNIAK 85, HARMON 85] tout en tenant compte des principes du marketing [LILIEN 83].

Nous décrivons en particulier la structure et le fonctionnement des deux éléments constitutifs du système expert:

- le système analogique, qui traite les données numériques caractérisant la situation [FRANKLIN 90, DORF 89] et

- le système logique, qui traite les données de la situation qui ne peuvent prendre que deux valeurs opposées [PEARL 88].

Nous complétons cette description par un exemple pratique montrant la manière dont un tel système expert peut être utilisé pour améliorer la gestion dans des situations d'appel d'offres [MOCELLIN 92-2, MOCELLIN 91, CALISCE 91, MILLING 89].

Enfin, nous tirons quelques conclusions sur l'utilisation de notre système.

Mots clef: système expert, appels d'offres, intelligence artificielle, stratégie, modélisation, simulation, optimisation, interface.

L'APPEL D'OFFRES

Les sociétés humaines ont développé une multitude de manières d'allouer et de se procurer des ressources. Dans l'économie de marché, un entrepreneur va en général au devant du client pour lui offrir des produits ou des services susceptibles de satisfaire ses besoins. Il existe cependant des situations où, au contraire, c'est le client qui s'adresse aux entrepreneurs, en les mettant en concurrence. Dans ce cas, le client lance un appel d'offres afin de trouver le fournisseur qui lui convient le mieux.

Les entrepreneurs intéressés répondent en faisant "une soumission" à l'émetteur de l'appel d'offres. Une soumission est un écrit par lequel un fournisseur s'engage à respecter le cahier des charges d'un marché en précisant des qualités, quantités, prix et délais.

La démarche du client consiste ensuite à "adjuger le marché", c'est-à-dire à attribuer la fourniture de biens ou de services à l'entrepreneur qui lui a fait les propositions les plus avantageuses.

Pour sélectionner une offre et prendre la décision de s'engager avec un entrepreneur, le client se réfère à un ensemble de critères parmi lesquels le prix est loin d'être l'élément décisif. En effet, l'expérience montre que certaines variables psychologiques ou sociologiques peuvent parfois prendre une importance prépondérante dans le processus de décision.

Une caractéristique fondamentale des situations d'appels d'offres est la complexité qui découle du nombre et de la variété des éléments à prendre en compte dans les décisions.

Une autre caractéristique fondamentale de l'appel d'offres est précisément d'être un appel. C'est-à-dire que tant que ce signal n'a pas été émis dans son environnement par le client, il n'existe pas de relation entre celui-ci et les fournisseurs potentiels. C'est l'appel qui génère la structure du marché en focalisant l'attention des diverses parties prenantes sur l'objet de l'appel d'offres. Lors d'un appel d'offres, des structures de marché se créent, se développent et disparaissent à une rapidité qui peut être qualifiée d'extraordinaire par rapport aux structures généralement traitées par les sciences de la gestion.

La diversité et la rapidité d'évolution des variables et des structures expliquent les difficultés qu'éprouvent les entrepreneurs à répondre aux appels d'offres des clients, tout comme d'ailleurs celles qu'éprouvent les clients à choisir l'offre qui satisfait le mieux leurs désirs.

Pour avoir vécu nous-mêmes les émotions et incertitudes du gestionnaire confronté à une situation d'appel d'offres, nous avons pensé que la constitution d'un ensemble d'outils cohérent pouvant l'aider dans sa démarche valaient la peine d'être tentées.

A cette fin nous avons développé une théorie alliant les connaissances de l'ingénieur à celles du gestionnaire pour concevoir et réaliser des systèmes experts permettant d'augmenter la précision et la rapidité des prises de décisions et donc d'améliorer la qualité de la gestion, en particulier dans le cas d'appels d'offres.

LE SYSTEME EXPERT

Un système expert est un programme informatique inclus dans un dispositif plus ou moins automatique, bouclé sur un processus, dans un environnement donné, reproduisant au mieux la boucle existant entre un individu qui serait expert en la matière et le dit processus.

Le marché est un ensemble d'acteurs en interaction. Pour le modéliser, nous y distinguons trois éléments fondamentaux: "un acteur", "une opposition" à laquelle l'acteur est confronté et "un environnement" dans lequel se déroule l'interaction entre l'acteur et l'opposition.

Pour ces trois éléments constitutifs du marché, les caractéristiques à prendre en considération sont de deux sortes:

- les données analogiques, c'est-à-dire numériques (par ex. prix?, quantité?, délai? etc.) et

- les données logiques qui ne peuvent prendre que deux valeurs opposées: oui/non, vrai/faux (par ex. cher?, faisable?, bref? etc.).

Dans notre modèle, ces deux classes de données sont traitées par des systèmes différents qui fonctionnent en interaction.

Le système analogique

Pour modéliser les éléments du marché, il importe de faire la distinction entre leur structure et leur état. A cette fin nous introduisons une notation explicite qui permet de distinguer l'état variable d'un élément du marché (indice $_E$ dans la notation) de la structure constante de cet élément (indice $_S$ dans la notation).

Considérant:

- l'état de l'acteur , qu'il soit entrepreneur, client ou autre, noté a_E;

- l'état de l'opposition à cet acteur, c'est-à-dire de l'affaire à traiter, noté o_E et

- l'état de l'environnement dans lequel se déroule la négociation entre l'acteur et l'opposition, noté e_E.

il est possible de représenter le comportement de l'opposition du point de vue de l'acteur au moyen d'une structure de négociation n_S, c'est-à-dire par un ensemble de relations qui représente les liens entre les variations de l'état de l'opposition, l'état de l'opposition elle-même, l'état de l'acteur négociant avec cette opposition et le temps. Cette structure de la négociation complétée par la structure e_S de l'impact de l'environnement sur l'opposition donne la représentation complète de l'opposition ci-dessous:

$$\frac{do_E(t)}{dt} = n_S\,[o_E(t), a_E(t), t] + e_S(t)\, e_E(t)$$

où:

- n_S représente la structure de la négociation liant l'état futur de l'opposition à:
  . son état $o_E(t)$ à l'instant t;
  . l'état $a_E(t)$ de l'acteur gérant cette opposition au même instant t et
  . le temps t.

- $e_S(t)$ représente les liens structurels entre l'état de l'opposition $o_E(t)$ et l'état de l'environnement $e_E(t)$.

Toujours du point de vue de l'acteur, nous pouvons poser que ses sensations sur la situation sont liées à son état et à l'état de l'opposition. Une telle proposition est cohérente avec le fait que les perturbations de l'environnement sont prises en compte dans le modèle du marché par l'équation de comportement de l'opposition ci-dessus.

La structure de sensation s_S qui lie l'état des sensations de l'acteur aux états des deux entités pertinentes dans la négociation, l'acteur considéré lui-même et son opposition devient:

$$s_E(t) = s_S\,[o_E(t), a_E(t), t] + f_S(t)\, f_E(t)$$

où:

- s_S représente les liens structurels produisant les sensations de l'acteur comme une fonction de:
  . l'état de l'opposition $o_E(t)$ à l'instant t;
  . l'état de l'acteur $a_E(t)$ au même instant t et
  . le temps t.

- l'équation d'observation est complétée par un terme où f_E représente l'état du flou sensoriel de l'acteur et f_S l'effet structurel de ce flou sur les sensations de l'acteur.

La représentation fondamentale du système analogique modélisant le marché étant définie, il est possible de différencier l'état de l'opposition par rapport à son état de référence $o_E{}^*$ et de différencier l'action de l'acteur par rapport à une valeur normalisée $a_E{}^*$ de l'action que celui-ci exerce sur l'opposition.

Nous pouvons ainsi représenter des variations autour d'un comportement normalisé tant du comportement de l'opposition que de l'action de l'acteur:

$$\delta o_E(t) = o_E(t) - o_E^*(t)$$

$$\delta a_E(t) = a_E(t) - a_E^*(t)$$

Nous pouvons introduire ces variations dans l'équation de comportement de l'opposition et ainsi développer une équation formalisant la dynamique de la négociation $n_S[o_E(t), a_E(t),t]$ dans un voisinage du fonctionnement normal du marché:

$$n_S\,[o_E(t), a_E(t), t] =$$

$$n_S\left[o_E^*(t), a_E^*(t), t\right] + \frac{\partial n_S}{\partial o_E}\left[o_E^*(t), a_E^*(t), t\right] \delta o_E(t) + \frac{\partial n_S}{\partial a_E}\left[o_E^*(t), a_E^*(t), t\right] \delta a_E(t) + \text{négl.}$$

En négligeant les termes d'ordre supérieur, nous obtenons la règle de comportement suivante pour l'opposition:

$$\delta\frac{do_E}{dt}(t) = \frac{\partial n_S}{\partial o_E}\left[o_E^*(t),\ a_E^*(t),\ t\right]\delta o_E(t) + \frac{\partial n_S}{\partial a_E}\left[o_E^*(t),\ a_E^*(t),\ t\right]\delta a_E(t) + e_S(t)e_E(t)$$

Un raisonnement identique peut être appliqué aux sensations de l'acteur, ce qui donne l'équation de modification des sensations de l'acteur ci-dessous:

$$\delta s_E(t) = \frac{\partial s_S}{\partial o_E}\left[o_E^*(t),\ a_E^*(t),\ t\right]\delta o_E(t) + \frac{\partial s_S}{\partial a_E}\left[o_E^*(t),\ a_E^*(t),\ t\right]\delta a_E(t) + f_S(t)\, f_E(t)$$

Si nous supposons que:

- les sensations de l'acteur ne sont disponibles qu'à certains instants finis k;
- la structure n_S caractérisant la négociation et la structure s_S définissant les sensations de l'acteur peuvent dépendre toutes deux explicitement ou implicitement du temps;
- les structures n_S et s_S sont continues et continûment différentiables par rapport à toutes les caractéristiques de l'état de l'opposition et de l'état de l'acteur;
- la perturbation de l'environnement est à tendance nulle, c'est-à-dire que $T\{e_E(k)\} = 0$

la variation de l'opposition peut être formulée de la manière suivante:

$$o_E(k+1) = o_S[o_E(k),\ k] + \alpha_S[a_E(k),\ k] + \varepsilon_S(k)\, e_E(k)$$

et les sensations de l'acteur de la manière suivante:

$$s_E(k+1) = \sigma_S\,[o_E(k+1),\ k+1] + \iota_S[a_E(k+1),\ k+1] + \varphi_S(k+1)\, f_E(k+1)$$

Les connaissances à priori concernant la perturbation de l'environnement et le flou de sensation de l'acteur peuvent être représentées comme suit:

- la dispersion de la perturbation de l'environnement autour de la tendance nulle:

$$T\left\{e_E(k)\, e_E^T(k)\right\} = \Delta_{E_{\alpha E}}$$

- la dispersion du flou de sensation:

$$T\left\{f_E(k)\, f_E^T(k)\right\} = \Delta_{E_{\beta E}}$$

- le fait que la perturbation de l'environnement et le flou de sensation sont mutuellement non corrélés:

$$T\left\{e_E(k)\, f_E^T(k)\right\} = 0_E$$

Nous pouvons de plus introduire une connaissance à priori de l'acteur sur l'état de l'opposition à l'instant initial:

$$o_E(0) = N\left\{T_{E_{o_E}}(0), \Delta_{E_{o_E}}(0)\right\}$$

Dans le cas où la négociation est considérée comme proportionnelle, la structure fondamentale du comportement de l'opposition peut être écrite de la manière suivante:

$$\frac{do_E}{dt} = o_S(t)o_E(t) + a_S(t)a_E(t) + e_S(t)e_E(t)$$

où:

- $o_E(t)$ symbolise un vecteur donnant l'état de l'opposition au temps t;
- $o_S(t)$ exprime la structure de l'opposition et donne le comportement de celle-ci si elle est laissée libre de tout contrôle de la part de l'acteur;
- $a_E(t)$ est un vecteur donnant l'état de l'acteur durant la négociation avec l'opposition;
- $a_S(t)$ est une fonction décrivant l'impact de l'action de l'acteur sur l'opposition;
- $e_E(t)$ est un vecteur décrivant la forme prise par l'environnement au temps t;
- $e_S(t)$ est une fonction incorporant l'impact de l'état de l'environnement sur l'état de l'opposition. Notons que $e_S(t)$ peut aussi être utilisé pour représenter certaines incertitudes de modélisation telles que:
  - . des forces de réglage de l'acteur que nous sommes incapables d'introduire dans le modèle;
  - . des erreurs de modélisation de la dynamique de l'opposition ou des effets négligés.

Nous pouvons écrire une seconde équation décrivant les sensations de l'acteur durant ses échanges avec l'opposition lors de la négociation:

$$s_E(t) = s_S(t)o_E(t) + i_S(t)a_E(t) + f_S(t)f_E(t)$$

où:

- $s_E(t)$ représente l'état de l'acteur au temps t;
- $s_S(t)$ dénote la transformation appliquée par les senseurs sur les caractéristiques de l'opposition;
- $o_E(t)$ est un vecteur incorporant l'état de l'opposition;
- $i_S(t)$ désigne la dynamique des sensations de l'acteur liée à son action propre;
- $a_E(t)$ est un vecteur représentant l'état de l'acteur;
- $f_S(t)$ est une transformation donnant l'impact du flou des senseurs sur les sensations de l'acteur;

- $f_E(t)$ est un vecteur dénotant l'état du flou de l'acteur au temps t. Notons que $f_E(t)$ est souvent utilisé pour représenter des incertitudes telles que:

  . des biais de sensation;
  . des perturbations inévitables agissant directement sur les senseurs.

Les hypothèse statistiques sur $e_E(t)$ et $f_E(t)$ sont toujours de considérer que:

- les vecteurs sont à tendance connue et dispersion blanche:

$$T\{e_E(t)e_E^T(\tau)\} = \Delta_{e_E}(t)\delta(t - \tau)$$

$$T\{f_E(t_i)f_E^T(t_j)\} = \Delta_{f_E}(t_i)\delta_{ij}$$

- il n'existe pas de lien entre $e_E(t)$ et $f_E(t)$, c'est-à-dire qu'ils sont mutuellement non corrélés:

$$T\{e_E(t)f_E^T(t_i)\} = 0_E$$

Si tous les raisonnements précédents sont faits en temps fini afin d'être traités par un ordinateur, l'équation de comportement de l'opposition devient:

$$o_E(k+1) = o_S(k)o_E(k) + \alpha_S(k)a_E(k) + \varepsilon_S(k)e_E(k)$$

et l'équation de sensation de l'acteur lui procurant les données durant le processus de négociation devient:

$$s_E(k) = \sigma_S(k)o_E(k) + \iota_S(k)a_E(k) + \varphi_S(k)f_E(k)$$

où les lettres grecques représentent les équivalent discrets des valeurs continues des équations précédentes.

Le système logique

La partie logique du marché est représentée par un moteur d'inférence conçu selon la théorie de l'intelligence artificielle.

Le moteur d'inférence est programmé spécialement pour permettre de faire:

- des inférences tirées de faits directement observés sur le marché;

- des inférences découlant d'informations sur l'état et la structure du modèle analogique du marché décrit ci-dessus;

- des inférences tirées directement de faits mémorisés concernant le marché.

Pour distinguer la structure du marché de l'état de celui-ci, nous faisons précéder les variables d'état d'un point d'interrogation. Dans une règle logique, tout terme qui n'est pas précédé d'un point d'interrogation définit donc une structure.

Un exemple typique de règle d'inférence gérée par notre moteur d'inférence serait pour une commande par exemple:

(n (intéressant ?x) (et (connu ?x) (rentable ?x)) m)

où:

- "n" est un indice (numéro) caractérisant la règle considérée;
- (intéressant ?x) est la conclusion logique de la règle disant que la commande "?x" est intéressante pour l'acteur considéré;
- "et" représente un connecteur logique liant les deux prémisses entre parenthèses qui le suivent directement;
- (connu ?x) est un connaissance à priori du fait que l'entreprise maîtrise ce genre de commandes;
- (rentable ?x) est la réponse à un test qui est positif si la commande considérée est rentable;
- "m" est un paramètre qui incorpore les incertitudes concernant la règle n. L'introduction de cette incertitude dans la règle permet de construire des raisonnements logiques flous, ce qui rend notre système logique cohérent avec l'aspect stochastique de notre système analogique.

Pour expliquer le fonctionnement de notre système expert, nous allons présenter un exemple pratique de son utilisation dans une situation d'appel d'offres.

UN EXEMPLE PRATIQUE

Prenons l'exemple d'un entrepreneur et d'un client qui se trouvent pour la première fois en relation d'affaires lors d'un appel d'offres. Il s'agit pour eux de négocier le prix d'une commande autour du cahier des charges qui en décrit les spécifications [MOCELLIN 91].

Le montant total du marché est d'environ 10 Millions de francs. L'entrepreneur tient à maintenir un prix élevé et le client à obtenir un rabais, ce qui induit une certaine tension entre eux.

La situation de négociation peut être représentée par le schéma ci-dessous:

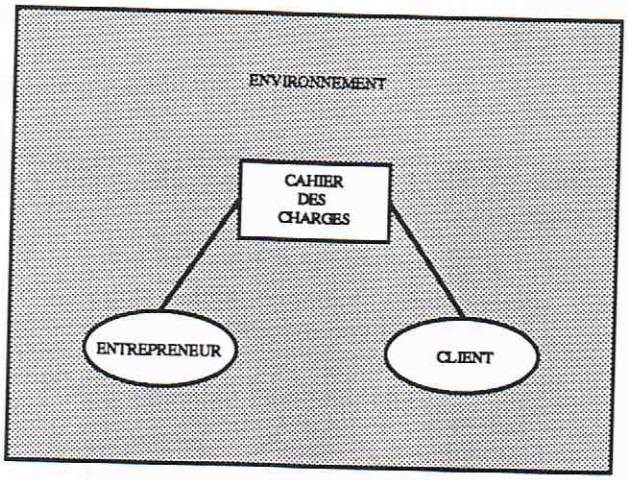

Figure 1
Représentation de la négociation.

Ce schéma du marché fait apparaître deux acteurs, un entrepreneur et un client, en train de négocier autour d'un cahier des charges dans un environnement donné.

Le cahier des charges qui lie l'entrepreneur et le client contient des spécifications plus ou moins rigides. Il est caractérisé par une certaine élasticité, c'est-à-dire une certaine résistance aux modifications, et une certaine fluidité, c'est-à-dire une certaine résistance à la vitesse d'introduction de modifications.

Un banquier qui finance à la fois l'entrepreneur et le client est informé de la négociation et du conflit entre ses deux partenaires. Il estime qu'il est de son intérêt de politique générale que leur négociation réussisse. Il aimerait trouver une stratégie optimale permettant simultanément une baisse raisonnable du prix et la création d'une bonne relation d'affaires entre l'entrepreneur et le client, ceci dans un délai raisonnable.

Etant en contact permanent avec l'entrepreneur et le client, il se propose d'intervenir comme arbitre dans l'affaire. Il nous mandate comme consultant pour élaborer une stratégie qui lui permettra de conseiller la meilleure manière d'agir à chacun de ses clients au cours de la négociation.

Le banquier fixe comme objectif une réduction de prix finale P de 1 Million ± 1%, avec un temps de stabilisation de 2 jours et demi et un débordement maximal de 20% durant la négociation. La vitesse initiale de la négociation est nulle et sa vitesse finale doit être nulle au prix final.

L'intensité de l'effort déployé par l'entrepreneur ou le client est limitée à 1 a, c'est-à-dire l'investissement total de chacun des gestionnaires, entrepreneur ou client, dans l'affaire.

La relation R entre l'entrepreneur et le client doit être amenée de 0 à 2 r, ce qui est considéré par le banquier comme une relation satisfaisante, avec la contrainte que la relation doit toujours être maintenue dans la fourchette $0 < R < 4$ r pour assurer une bonne négociation.

D'autre part le banquier, sachant que la situation est relativement importante et urgente, cherche à savoir en fonction de ces deux critères si oui ou non il doit intervenir dans la négociation.

Constatant la complexité du problème, nous décidons d'utiliser notre système expert pour trouver une stratégie d'intervention satisfaisante pour le banquier et lui permettre de décider si oui ou non il doit intervenir dans l'affaire.

Modélisation du cas

Le problème peut être représenté par un acteur, le banquier, confronté à une opposition, la négociation, dans un environnement donné:

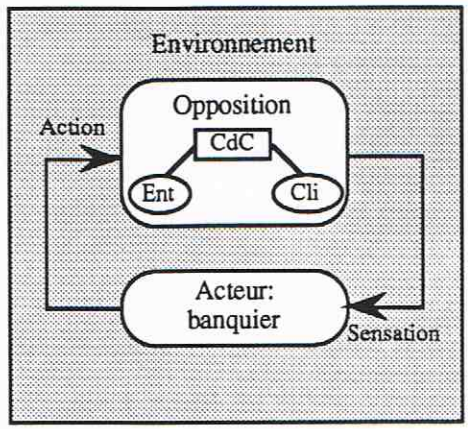

Figure 2
Représentation d'une situation d'appel d'offre dirigée par un banquier qui supervise la négociation entre un entrepreneur et un client autour d'un cahier des charges.

Le but de la stratégie du banquier est de faire évoluer la négociation selon l'objectif en contrôlant les efforts de l'entrepreneur et du client par des conseils d'action fondés sur l'observation de la négociation.

Commençons par introduire les unités dans le système expert et inventorier les paramètres et variables permettant de caractériser la négociation, le banquier et l'environnement:

Unités: [m] unité monétaire; [r] unité de relation; [d] unité de distance; [t] unité de temps; [a] unité d'action; [rad] unité d'état des gestionnaires; [i] unité d'inertie des gestionnaires;

Paramètres et variables:

P = baisse de prix finale de la négociation [m];

R = niveau de la relation entre client et entrepreneur[r];

$e_{CdC} = 2113$, élasticité du cahier des charges [r / d];

$f_{CdC} = 3.75$, fluidité du cahier des charges [r t / d];

$I_{Ent} = I_{Cli} = I = 0.06375$, inertie des gestionnaires [i d^2];

P_{Ent}, P_{Cli} = prix de transaction des gestionnaires [m];

$r_{Ent} = r_{Cli} = r$ = rayon d'action des gestionnaires [d];

$E_{Ent} = E_{Cli} = E = 0.544$, efficacité des gestionnaires [r d / a];

a_{EEnt}, a_{ECli} = action des gestionnaires, entrepreneur et client [a];

g_{EEnt}, g_{ECli} = état des gestionnaires [rad] et

v_{Ent}, v_{Cli} = vitesse des gestionnaires [rad t^{-1}].

Ecrivons ensuite les équations de la négociation en notant la vitesse d'une variable par un point sur cette variable (par ex. $\dot{x}$) et l'accélération par deux points ($\ddot{x}$):

$$I_{Ent}\,\ddot{g}_{EEnt} = -\,R\,r_{Ent} + E_{Ent}\,a_{EEnt}$$

$$I_{Cli}\,\ddot{g}_{ECli} = -\,R\,r_{Cli} + E_{Cli}\,a_{ECli}$$

$$R = e_{CdC}\,(P_{Cli} - P_{Ent}) + f_{CdC}\,(\dot{P}_{Cli} - \dot{P}_{Ent})$$

$$P_{Initial} = \frac{(p_{Cli} - p_{Ent})}{2}$$

que nous pouvons réécrire sous la forme matricielle:

$$\dot{o}_E = o_S o_E(t) + a_S a_E(t)$$

où:

- $o_E(t)$ représente l'état de la négociation au temps t;
- o_S représente la structure constante de la négociation;
- $a_E(t)$ est un vecteur représentant l'état de l'action des gestionnaires et
- a_S symbolise l'impact de l'action des gestionnaires sur la négociation.

En introduisant les valeurs numériques de l'énoncé, nous obtenons l'équation matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_{Ent} \\ \dot{P}_{Cli} \\ \ddot{g}_{EEnt} \\ \ddot{g}_{ECli} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 \\ 3.315 & -3.315 & -0.5882 & -0.5882 \\ 3.315 & -3.315 & -0.5882 & -0.5882 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{Ent} \\ P_{Cli} \\ \dot{g}_{EEnt} \\ \dot{g}_{ECli} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 8.533 & 0 \\ 0 & 8.533 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{EEnt} \\ a_{ECli} \end{bmatrix}$$

Nous écrivons ensuite l'équation matricielle permettant à l'acteur de ressentir les variables de l'opposition à contrôler par la stratégie recherchée:

$$s_E(t) = s_S o_E(t)$$

où:

- $o_E(t)$ représente l'état de la négociation au temps t;
- s_S la structure constante de la sensation de la négociation et
- $s_E(t)$ est un vecteur représentant l'état de l'objectif à atteindre.

En introduisant les valeurs numériques, nous obtenons l'équation vectorielle de sensation:

$$\begin{bmatrix} P \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ -2.113 & 2.113 & 0.375 & 0.375 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{Ent} \\ P_{Cli} \\ \dot{g}_{EEnt} \\ \dot{g}_{ECli} \end{bmatrix}$$

qui complète la représentation analogique du marché.

Nous n'entrerons pas ici, faute de place, dans le détail de la représentation logique. Nous nous contenterons de présenter une copie d'écran montrant le fonctionnement du système logique.

Utilisation du système expert

Le système montre que les quatre racines de l'équation de la négociation non contrôlée valent:

$$s = 0, 0, 0.6 \pm 8j \text{ rad/jour}$$

où les racines oscillantes proviennent de l'élasticité du cahier des charges couplée aux inerties des gestionnaires. Il nous permet donc d'en conclure que la négociation libre oscillera a une fréquence qui ne permettra pas de satisfaire les spécifications fixées par le banquier.

Par sécurité, nous proposons au système d'échantillonner la négociation à 15 fois la résonance en boucle ouverte de 8 rad/jour. Il en résulte une fréquence d'échantillonnage de T = 0.05 jour (72 minutes).

La période d'échantillonnage étant fixée, nous pouvons élaborer, grâce au système expert, une stratégie analogique permettant au banquier d'atteindre son objectif en conseillant ses deux clients sur leur manière d'agir dans la négociation.

Pour contrôler les deux objectifs de la négociation (le rabais et la relation), nous pouvons commencer par essayer une rétroaction des quatre variables décrivant l'état de la négociation (prix de l'entrepreneur P_{Ent}, prix du client P_{Cli}, orientation de l'entrepreneur g_{EEnt} et orientation du client g_{ECli}) sur l'action des gestionnaires.

Pour ce faire, nous choisissons des coefficients décrivant la rigueur relative de la stratégie du banquier sur les deux variables à contrôler, le rabais P et la relation R, selon la règle de l'inverse des écarts quadratiques maximaux admis. Ceci nous donne la matrice de rigueur relative $\overline{\Psi}_{Rig}$ suivante:

$$\overline{\Psi}_{Rig} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0.25 \end{bmatrix}$$

Comme nous pouvons supposer que le banquier conseillera d'agir autant à l'entrepreneur qu'au client, nous pouvons prendre comme hypothèse que la matrice de vigueur Ψ_{Vig} déterminant les efforts des deux gestionnaires, entrepreneur et client, dans la négociation sera la suivante:

$$\Psi_{Vig} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Le système montre que cette stratégie donne des résultats peu satisfaisants:

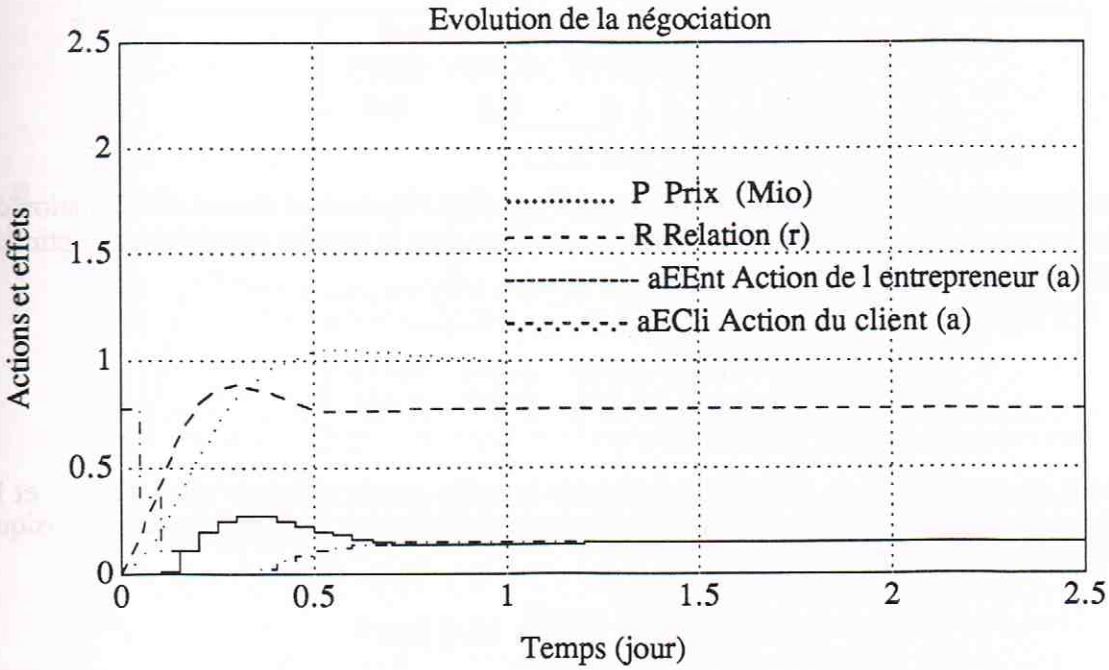

Figure 3
Négociation réglée selon une stratégie quadratique classique bouclée sur l'état de la négociation.

Toutes les variables sont normalisées.

La figure montre que le prix P a un temps d'établissement d'environ un jour, avec un dépassement de moins de 20%. Cependant, la relation entre l'entrepreneur et le client est loin de prendre la valeur désirée 2 r qui correspond à l'objectif fixé par le banquier. Les efforts des gestionnaires restent dans les limites admises mais sont minimes par rapport à leurs potentialités.

Le système expert permet d'ajouter une troisième variable à l'équation de sensation afin d'obtenir une meilleure relation d'affaires entre les gestionnaires. Nous introduisons la vitesse de constitution de la relation entre les gestionnaires afin de compléter la stratégie. Nous pouvons également appliquer une rigueur relative supérieure en ce qui concerne l'instauratiion de la relation.

Nous obtenons ainsi les matrices de rigueur relative et de vigueur suivantes:

$$\overline{\Psi}_{Rig} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

et:

$$\Psi_{Vig} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La rigueur totale de la stratégie avec cette nouvelle variable vaut:

$$\Psi_{Rig} = s_S^T \overline{\Psi}_{Rig}\, s_S$$

où la structure de la sensation devient la suivante:

$$s_S = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ -2.113 & 2.113 & 0.375 & 0.375 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

L'utilisation de la rigueur Ψ_{Rig} et de la vigueur Ψ_{Vig} dans l'équivalent discret de l'équation de négociation permet de calculer une stratégie quadratique dont la matrice stratégique r_S optimale au sens des moindres carrés est la suivante:

$$r_S = \begin{bmatrix} -0.823 & 0.286 & 1.441 & 0.311 \\ -0.286 & 0.823 & 0.311 & 1.441 \end{bmatrix}$$

Le calcul des racines de la négociation discrète bouclée par la stratégie ainsi définie et la transformation des valeurs obtenues en leur équivalent discret par la transformation classique $z = e^{sT}$ donne les résultats suivants:

$$s = -5.5 \pm 5.5j,\ -10.4 \pm 12.4j \text{ jour}^{-1}$$

Afin de mener la négociation aux valeurs désirées de R et P, nous pouvons calculer l'état de référence espéré de la négociation $o_{ERéf}$ en le déduisant des relations économiques et sociales qui doivent être vérifiées aux valeurs désirées de P = 1 Mio et R = 2 r:

$$P_{Ent} + P_{Cli} = 2\,P = 2$$

$$P_{Cli} - P_{Ent} = \frac{R}{e_{CdC}} = \frac{2}{2113} = 0.000947 \text{ Mia} = 0.947 \text{ Mio}$$

La référence de négociation est obtenue en résolvant ces deux équations, ce qui donne les prix de l'entrepreneur et du client. Nous y ajoutons les deux vitesses nulles de la fin de la négociation, ce qui donne le vecteur suivant:

$$o^T_{ERéf} = [\ 0.527 \quad 1.473 \quad 0 \quad 0\ ]$$

Le système montre une négociation dont l'évolution est représentée par la figure ci-après:

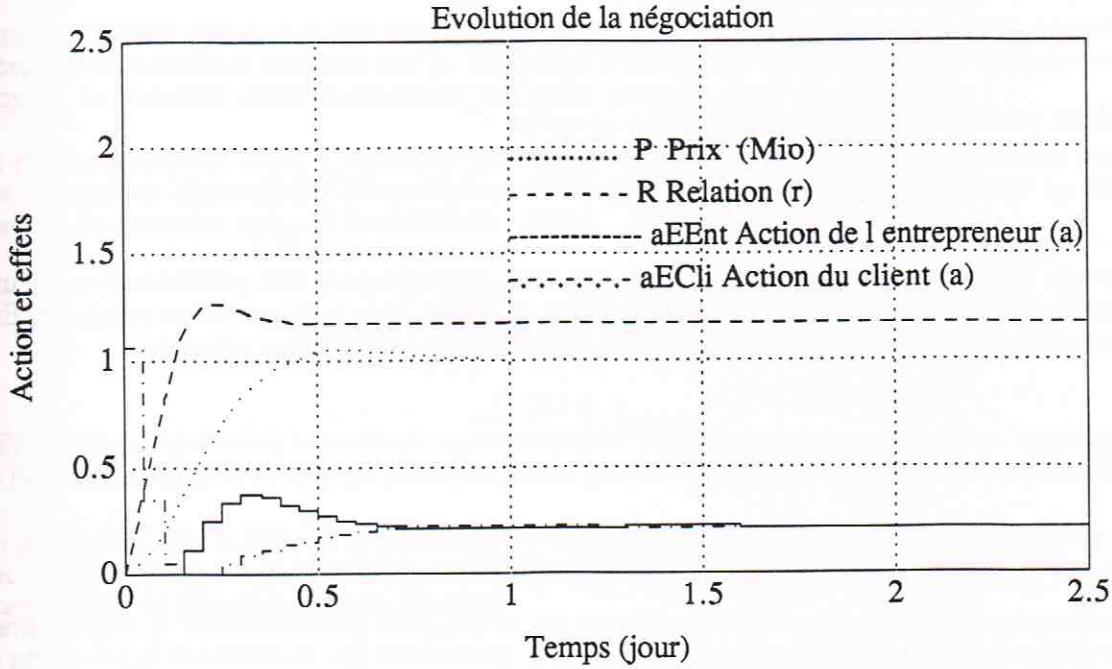

Figure 4
Négociation bouclée par une stratégie augmentée par créativité stratégique.

L'évolution de la négociation réglée sur la référence par la stratégie optimale de rétroaction r_S montre une limite d'action des gestionnaires violée.

Puisque la relation entre les gestionnaires est la seule quantité entachée d'erreur, c'est cette quantité que nous nous proposons de corriger par une stratégie intégrale. Le système nous permet d'introduire une mesure de la relation pour augmenter la rétroaction stratégique. Pour cela, nous faisons à nouveau acte de créativité stratégique et augmentons la dimension de la négociation en rajoutant une nouvelle variable, l'intégrale de la relation, ce qui donne le vecteur de sensation de l'intégrale suivant:

$$s_{SI} = [\ -2.113 \quad 2.113 \quad 0.375 \quad 0.375\ ]$$

La nouvelle matrice de sensation de la négociation qui incorpore la structure correspondant à la quatrième variable constituée de l'intégrale de la relation, o_{EI}, est:

$$s_S = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & -2.113 & 2.113 & 0.375 & 0.375 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Les matrices de rigueur relative et de vigueur révisées sont alors obtenues en ajoutant un terme dans la diagonale pour représenter l'importance donnée à l'intégrale dans l'élaboration de la stratégie:

$$\overline{\Psi}_{Rig} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1 \end{bmatrix}$$

et

$$\Psi_{Vig} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Le système donne alors la matrice stratégique ci-après:

$$r_S = \begin{bmatrix} 0.137 & -0.926 & 0.734 & 1.26 & 0.585 \\ 0.137 & -0.734 & 0.926 & 0.585 & 1.26 \end{bmatrix}$$

Notons que le système permet de remarquer que cette stratégie peut être partitionnée en deux sous-stratégies, l'une pour l'intégrale de la relation et l'autre pour la négociation originale. En cas d'une telle partition, le système propose les deux matrices stratégiques suivantes:

$$r_{SI} = \begin{bmatrix} 0.137 \\ 0.137 \end{bmatrix}$$

et

$$r_{SO} = \begin{bmatrix} -0.926 & 0.734 & 1.26 & 0.585 \\ -0.734 & 0.926 & 0.585 & 1.26 \end{bmatrix}$$

Ces matrices stratégiques peuvent être utilisées par le banquier pour contrôler la négociation avec la différence essentielle par rapport à la version précédente que maintenant la proaction a été remplacée par une intégrale de l'erreur sur la relation entre les gestionnaires.

Les racines de la négociation bouclée par cette nouvelle stratégie, transformées dans le plan des s, deviennent:

$$s = -9.3,\ -3.1 \pm 3.1j,\ -5.8 \pm 11.8j \text{ jour}^{-1}$$

Le comportement de cette négociation est illustré par le système comme suit:

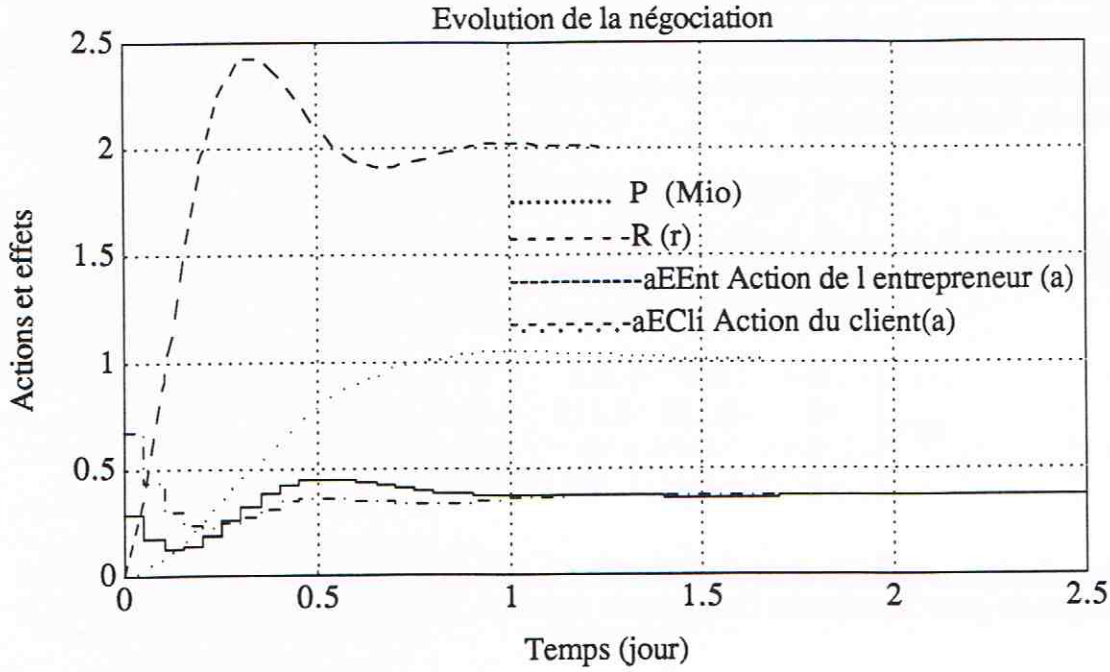

Figure 5
Négociation bouclée par une stratégie considérant l'intégrale de la relation entre les gestionnaires.

Nous constatons que le système a proposé une stratégie par laquelle la relation monte plus rapidement à la valeur désirée de 2 r, et par laquelle toutes les autres spécifications de la négociation sont atteintes.

Notons en outre que le système expert permet de faire l'hypothèse que l'état de la négociation n'est pas directement ressenti par le banquier, c'est-à-dire que celui-ci ne dispose pas des moyens de connaître simultanément les prix et les états des deux gestionnaires.

Le système propose alors d'introduire un estimateur qui déduira une observation en fonction des sensations disponibles. Nous reprenons la matrice de sensation de l'acteur s_S comme matrice de sensation s_{SEst} de l'estimateur:

$$s_{SEst} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ -2.113 & 2.113 & 0.375 & 0.375 \end{bmatrix}$$

Afin d'utiliser également la partie du système expert représentant les perturbations stochastiques de l'environnement et le flou de sensation, nous pouvons les introduire dans notre exemple.

En supposant que le flou de la sensation du rabais soit de 0.02 Mio, et en supposant en outre que l'imprécision de la sensation de la relation soit de 0.01 r, nous obtenons la matrice stochastique de flou de sensation suivante:

$$\Delta_{f_E} = \begin{bmatrix} 0.0004 & 0 \\ 0 & 0.0001 \end{bmatrix}$$

Nous admettons que les perturbations de la négociation par l'environnement dans lequel elle se déroule affectent de manière identique les efforts a_{EEnt} et a_{ECli} des deux gestionnaires engagés dans la négociation.

Ne disposant pas de mesures de l'amplitude et de la fréquence des perturbations de l'environnement pour déterminer l'état stochastique Δ_{eE} de celles-ci, nous choisissons arbitrairement la matrice suivante pour caractériser l'incertitude sur l'environnement:

$$\Delta_{e_E} = \begin{bmatrix} 0.0001 & 0 \\ 0 & 0.0001 \end{bmatrix}$$

En introduisant ces deux matrices d'incertitude dans le système, celui-ci nous fournit la stratégie d'observation quadratique représentée par la matrice A_S d'apprentissage de l'estimateur suivante:

$$A_S = \begin{bmatrix} 0.321 & -0.120 \\ 0.321 & 0.120 \\ -0.124 & 0.142 \\ .124 & 0.142 \end{bmatrix}$$

dont les racines de l'erreur valent:

$$s = -3.0 \pm 4.5j,\ -4.1 \pm 15.4j \text{ jour}^{-1}$$

Incorporant toutes les incertitudes et une observation déduite des sensations par un estimateur, le système donne la représentation suivante de la négociation :

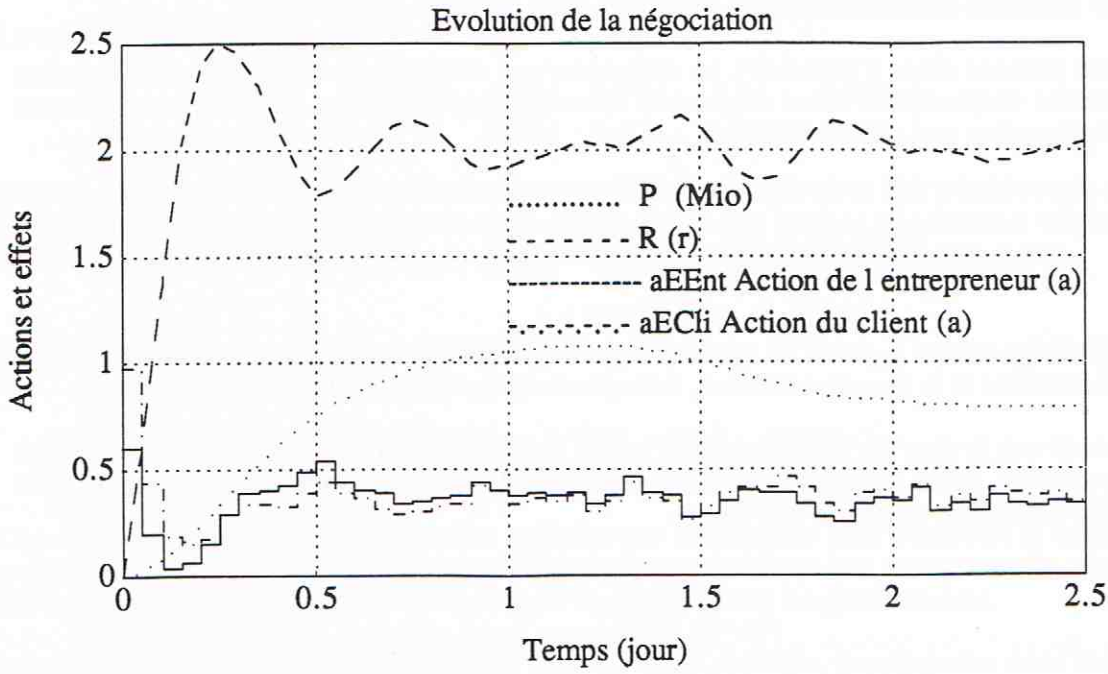

Figure 6
Négociation avec perturbation par l'environnement, flou de sensation et estimation de l'observation.

Cette figure montre le comportement de la négociation précédente à laquelle ont été ajoutés:

- un flou de moyenne nulle et d'erreur quadratique moyenne de 0.02 Mio sur la mesure de P;
- un flou de moyenne nulle et d'erreur quadratique moyenne de 0.01 r sur la mesure de R et
- une perturbation discrète de 0.01 a sur l'action a_{Ent} de l'entrepreneur dans la négociation à 1.5 jour du début de la négociation.

Elle permet de noter une instabilité de la relation et des actions, ainsi qu'une erreur stationnaire sur le rabais à cause du sursaut de l'entrepreneur au bout de 1.5 jour.

En ce qui concerne le fonctionnement du système logique qui complète le système analogique, nous présentons un fragment du panneau de contrôle du système expert.

Le traitement de certaines informations alerte le banquier sur certains aspect favorables ou défavorables de la situation:

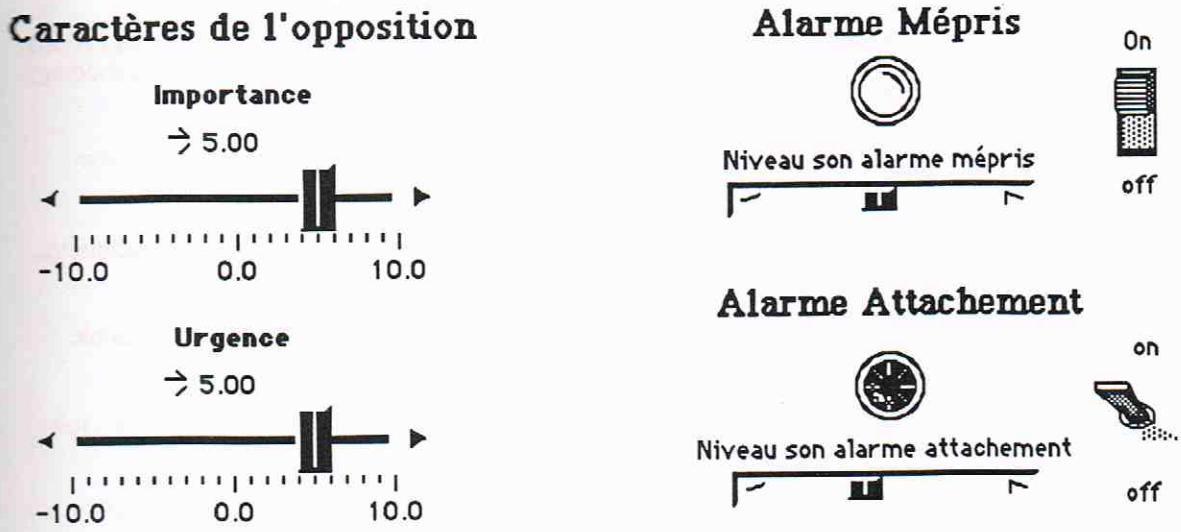

Figure 7
Interface de dialogue logique entre l'utilisateur et le système expert.

Les deux boutons à glissière de gauche (importance et urgence) permettent d'introduire le fait que dans l'énoncé du problème le banquier attribue une certaine importance et une certaine urgence à l'affaire;
Les deux lampes rondes (alarme mépris, alarme attachement) transmettent des information logiques données par le système;
Les deux boutons à glissière de droite (Niveau son) permettent de régler le niveau sonore des alarmes;
Les deux boutons logiques de droite (on/off) permettent d'enclencher et de déclencher les alarmes sonores.

La copie d'écran ci-dessus montre, en bas à droite, qu'une alarme logique lumineuse, celle de l'attachement (en noir sur la figure, en vert sur l'écran), s'est allumée. Cette alarme signifie que les émotions du banquier vont le conduire à intervenir dans l'affaire. Au contraire, l'alarme mépris l'inciterait à ne pas intervenir.

CONCLUSION

Le système expert présenté ouvre de nouvelles perspectives pour la prise de décision sur les marchés, en particulier sur ceux fonctionnant sous le régime de l'appel d'offres. Il permet en effet d'améliorer créativité, rigueur et vigueur dans la gestion tout en éliminant certaines indéterminations.

BIBLIOGRAPHIE

[CALISCE 91] E. N. Forte, editor, "Proceedings of the International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering", Swiss Institute of Technology, Lausanne, 1991

[CHARNIAK 85] E. Charniak et D. McDermott, "Introduction to Artificial Intelligence", Addison-Wesley, Reading, Massachussets, 1985

[DORF 89] R. C. Dorf, "Modern Control Systems", Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989

[FRANKLIN 90] G. F. Franklin, J. D. Powell and M. L. Workman, "Digital Control of Dynamic Systems", Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1990

[HARMON 85] P. Harmon et D. King, "Artificial Intelligence in Business: Expert Systems", John Wiley, Inc., New York, 1985

[HART 88] A. Hart, "Acquisition du savoir pour les systèmes experts", Masson, Paris, 1988

[LEVINE 86] R. I. Levine, D. E. Drang et B. Edelson, "A Comprehensive Guide to Artificial Intelligence and Expert Systems", McGraw-Hill, New York, 1986

[LILIEN 83] G. L. Lilien and P. Kotler, "Marketing decision making: a model building approach", Haper & Row, New York, 1983

[LUCAS 91] P. Lucas and L. van den Gaag, "Principles of expert systems", Addison-Wesley, New York, 1991

[MILLING 89] P. M. Milling, E. O. K. Zahn, "Computer-based management of complex systems", Proceedings of the 1989 conférence of the System Dynamics Society, Springer-Verlag, Berlin, 1989

[MOCELLIN 91] J. Mocellin, "Un système d'aide à la fixation du prix; le cas des appels d'offres", Thèse N° 370, Faculté des Sciences Economiques et Sociales, Université de Genève, Genève, 1991

[MOCELLIN 92-1] J. Mocellin, "Competitive bidding modelling", Proceedings of the International Symposium on Dynamic Games and Applications, University of Geneva, Geneva, 1992

[MOCELLIN 92-2] J. Mocellin, "Le dirigeant face aux systèmes experts", Revue Polytechnique, Genève, février 1992

[PEARL 88] J. Pearl, "Probabilistic reasoning in intelligent systems", Morgan Kaufmann, San Mateo, 1988

[ROLSTON 88] D.W. Rolston, "Principles of Artificial Intelligence and Expert Systems Development", McGraw-Hill, New York, 1988

[STARK 79] R. M. Stark and M. H. Rothkopf, "Competitive bidding: a comprehensive bibliography", Operation Research, N° 27, 1979

[WATERMAN 86] D. A. Waterman, "A Guide to Expert Systems", Addison-Wesley, Cambridge, 1986

[WINSTON 86] P.H. Winston, K.A. Prendergast, "The Artificial Intelligence Business", MIT Press, Cambridge, 1986