

CAHIER DU LAMSADE

Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision

(Université de Paris-Dauphine)

Equipe de Recherche Associée au C.N.R.S. N° 656

DECISIONS ET OPTIMISATION DANS UN SYSTEME A TROIS ACTEURS

CAHIER N° 53
novembre 1983

P. NAEGEL

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
Abstract	I
Résumé	II
1. Modélisation et formalisation des systèmes socio-économiques	1
2. Un simulateur socio-économique : La simulation professionnelle	8
3. Une simulation numérique inspirée de la simulation professionnelle : Trijeu	16
4. Conclusions	25
Références	29

DECISION AND OPTIMIZATION IN A SYSTEM INVOLVING THREE "PARTNERS"

ABSTRACT

In this paper, we first put into light some difficulties occurring when modelling a decision-making process as soon as three or more "partners" are involved in it through competition, co-operation or coalition.

Furthermore, using results obtained during "professional simulations" in management training, we argue that, in the general case, the optimizing possibilities included in a model are not fully used in practice by human beings.

We then present results obtained with the same model when decision-makers are replaced by computer programs. In this numerical simulation, strategies are partially probabilistic.

Comparing the results of these two simulations, we show that the numerical simulation seem to outperform professional simulation in which human decision-makers are involved.

Key-words : optimization, co-operation, competition, coalition, professional simulation, modelling, numerical simulation.

DECISIONS ET OPTIMISATION DANS UN SYSTEME A TROIS ACTEURS

RESUME

Le but du présent cahier est, dans un premier temps, de mettre en évidence un certain nombre de difficultés de modélisation et de formalisation dès lors que trois acteurs au moins sont concernés par un processus de décision pouvant comporter simultanément coopération, compétition et coalition.

Ensuite, en s'appuyant sur des résultats obtenus lors de simulations professionnelles à visée d'apprentissage du management, on montre que, dans le cas général, les possibilités d'optimisation que contient le modèle sont incomplètement utilisées, dans les faits, par des acteurs humains.

Enfin, on montre ce que devient la dynamique du modèle lorsque les acteurs sont remplacés par des programmes informatiques. Dans la simulation numérique ainsi constituée, les stratégies "d'acteurs" sont partiellement probabilisées.

En conclusion, on attire l'attention sur le fait que les simulations numériques semblent donner de meilleurs résultats que les simulations professionnelles à acteurs humains.

Mots-clés : optimisation, coopération, compétition, coalition, simulation professionnelle, modélisation, simulation numérique.

1 - MODELISATION ET FORMALISATION DES SYSTEMES SOCIO-ECONOMIQUES

1.1 L'observation empirique de n'importe quel système socio-économique (entreprise, administration etc.,) fait apparaître immédiatement une multiplicité d'acteurs en interaction. Ceux-ci sont conduits à prendre des décisions dont on suppose qu'elles permettront à l'organisation qu'ils constituent d'atteindre un but. On suppose de plus, dans la plupart des cas, que ce but est explicite et, hypothèse supplémentaire, est quantifiable.

Dès lors, une mesure est introduite qui, compte tenu de ses résultats, est sensée influencer les décisions. Que cette influence s'exerce a priori ou a posteriori (par feed back) ne change rien à notre présent propos. Dans les deux cas, cette influence est supposée maintenir les acteurs dans la sphère de la rationalité.

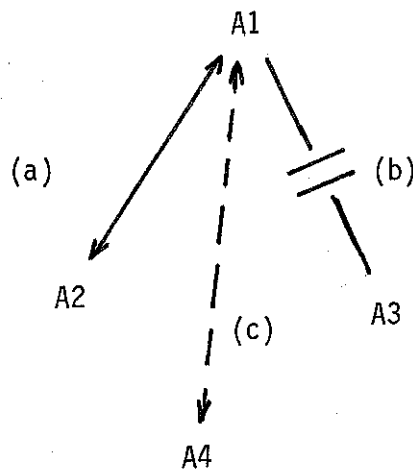
1.2 La modélisation et la formalisation se nourrissent à la même source abstraite, c'est à dire les mathématiques. Lorsqu'elles font défaut, on remplace la formalisation par la description, et la modélisation devient simulation sur ordinateur. Les modèles perdent in fine toute prétention prédictive et ne servent plus qu'à exhiber des solutions possibles.

La simulation numérique devient ainsi la brèche par laquelle le modélisateur échappe au confinement que lui impose la rigueur de l'analyse mathématique qu'il ne peut plus faire.

Nous voudrions montrer rapidement dans cette première partie que c'est là introduire des biais structurels mais généralement cachés dans la modélisation.

1.3 Multiplicité d'acteurs, avons nous observé. Mais nous observons aussi des synchronies et des diachronies. Nous observons des relations entre acteurs, qui s'inscrivent dans ces synchronies et diachronies de bien des manières : alliance, compétition, conflit,

coalition, coopération, indifférence, opportunisme et autres. Bien plus, un même acteur (*) peut être impliqué de façon synchrone dans un réseau de relations. Il suffit pour cela qu'il y ait plus de deux acteurs, ce qui est le cas le plus fréquent. Par exemple, le schéma ci-dessous montre que l'acteur A1 est en relation simultanée, de trois manières différentes, avec les acteurs A2, A3 et A4.



(a) : alliance A1/A2

(b) : conflit A1/A3

(c) : coalition éphémère A1/A4 visant A3 et accessoirement/ secrètement A2 !

Ainsi un acteur peut être simultanément allié à l'un et opposé à l'autre, tout en formant une coalition éphémère avec quiconque lui permettra de faire pression ailleurs.

(*) le mot "acteur" est employé ici dans un sens très général, pour désigner un élément d'un système; ce peut donc être un individu ou un groupe d'individus.

Dans certains systèmes physiques simples, une formulation mathématique du système assortie d'une solution analytique est possible. On pourra par exemple écrire et intégrer un système d'équations simultanées aux dérivées partielles et, compte tenu de conditions initiales, obtenir la description synchrone/diachrone du système (pour fixer les idées, pensons à un système constitué par un oscillateur du type self/capacité).

- 1.4 Mais un problème en apparence banal reste sans solution : celui dit "des trois corps" en astronomie. Citons ici brièvement I. PROGOGINE et E. STENGERS ("La nouvelle alliance", 1979):

" ... le bon changement de variable qui éliminerait les interactions ... le célèbre problème à trois corps ... D'innombrables tentatives de le mettre sous sa forme intégrable se poursuivirent jusqu'au moment où, à la fin du XIX^{ème} siècle, BRUNS et POINCARÉ montrèrent que c'était impossible." (pp 84,85 - souligné par nous)

Il est en effet facile d'écrire une relation représentant l'interaction entre deux corps mais il n'en est pas de même lorsqu'il y a trois corps. Cela tient à la nature même de nos mathématiques actuelles qui sont fondées exclusivement sur des relations binaires.

On conçoit aisément mais intuitivement qu'une telle mathématique ne soit pas à même de traiter un problème de relation ternaire, comme l'est de toute évidence le problème à trois corps.

Sachant que dans les systèmes socio-économiques il y a toujours au moins trois acteurs (et généralement plus) - ce qu'encore une fois l'observation la plus superficielle montre déjà à l'évidence - nous voici devant un premier biais : les relations binaires sont trop pauvres pour modéliser la richesse du réel qui est complexe et présente des synchronies multiples.

- 1.6 Par ailleurs, du point de vue des relations, un système à deux éléments présente deux relations orientées, là où un système à trois éléments en présente six. Pour un élément en plus, le rapport du nombre de relation au nombre d'éléments augmente de 100 %, alors que le nombre d'éléments n'augmente que de 50 %. Un tel saut ne se retrouve plus si on augmente le nombre d'éléments au delà de trois.

Ainsi tout se passe comme si la formalisation à l'aide des seules relations binaires des mathématiques actuelles faisait "piétiner" le modélisateur sur un seuil au delà duquel un saut qualitatif serait possible.

- 1.7 Le même biais, précédemment analysé en termes spatiaux, peut être mis en évidence en termes temporels.

En effet, la synchronie, impossible à traiter sur plus de deux éléments, va être subrepticement évacuée et remplacée de façon magique par la succession d'une multitude de micro-diachronies : le "pas à pas". L'hypothèse forte mais implicite est ici que, pendant que l'on s'occupe - pendant une durée très courte (et aussi petite que l'on veut) - de ce qui se passe entre deux acteurs dans un petit coin du système, tous les autres restent au "garde à vous".

Cette magie est d'autant plus efficace qu'elle se sert des chapeaux sidérants que sont les ordinateurs. Il faut peu de temps au courant électrique pour passer d'une bascule à l'autre sur une "puce" qui en contient 30 000 au mm^2 . D'où l'illusion.

On observera que cette machinerie suppose de surcroît - et de la même manière - qu'un acteur impliqué dans des relations et donc des rôles multiples joue ces rôles successivement !

Bien entendu, on objectera que dans la plupart des cas, on peut prendre des précautions - soit une découpe suffisamment fine -

pour que le calcul numérique et la solution analytique soient équivalents. "Celà ressemble suffisamment", dit-on.
Et on s'en satisfait !

- 1.8 Les quelques miles marins qui séparent Charybde de Scylla seront franchis allègrement grâce aux vents porteurs de la probabilité.

En effet, il restait le problème jusque là tenu en réserve du caractère non entièrement rationnel (c'est un euphémisme) des acteurs. Ceux-ci sont par moments beaucoup plus sataniques que le démon de Maxwell. Il leur arrive de prendre des décisions "catastrophiques", ce qui fait franchir au système des bifurcations de façon radicalement imprévisible.

Mais qu'à celà ne tienne ! La folie humaine - l'esprit d'entreprise en est une - sera remplacée par une courbe de Gauss ou une loi de Poisson. Et en fin de compte, l'acteur individuel sera remplacé par des moyennes, ce qui est un coup de force réalisé à l'aide d'un changement d'échelle clandestin. Ceci constitue un autre biais dans la modélisation.

- 1.9 Mais alors que faire ?

En l'absence d'une mathématique permettant de décrire synchroniquement des relations plus que binaires, et qui intégrerait une logique à plus de deux états, toute formalisation réellement pertinente des systèmes socio-économiques - impliquant par définition des acteurs humains - semble a priori exclue, du moins globalement. Celà laisse bien sur leur entière valeur aux modèles existants, du point de vue d'une rationalité spatio/temporellement locale.

Néanmoins, le coût de dysfonctionnement global des systèmes socio-économiques devient prohibitif et donc intolérable, pendant que l'essai en vraie grandeur est soit hors de nos moyens, soit contraire à notre éthique.

Pourtant, dans la formation des pilotes de ligne par exemple, il est connu que les simulateurs de vol prennent une place grandissante, si non encore toute la place (des formations entières sur simulateurs, c'est à dire avec zéro heures de vol réel, sont d'ors et déjà envisagées).

Peut-on alors imaginer, par analogie, des "simulateurs socio-économiques" ?

La réponse est oui, et nous tentons pour notre part depuis dix ans d'apporter une contribution dans ce domaine (voir à ce sujet notre Thèse de 3^o cycle : "Coopération et Compétition dans les Organisations - Recherche d'une modélisation" - Université de PARIS - Dauphine - 1982).

Parmi les contraintes de modélisation permettant de déboucher sur des simulateurs socio-économiques, nous avons dégagé la nécessité de faire prendre place aux décideurs dans le modèle lui-même, physiquement parlant. C'est à dire que nous renonçons à modéliser l'acteur humain en tant que sous-modèle d'un modèle global. Nous entendons placer le décideur en tant que tel - physiquement - dans le modèle global.

Ayant, pendant dix ans, limité notre travail à l'Entreprise et à ses Managers, nous avons appelé "SIMULATION PROFESSIONNELLE" une pratique visant à faire agir réellement des cadres, de façon professionnelle - à partir et sur des données fictives, c'est à dire simulées.

Une Simulation Professionnelle constitue la mise en oeuvre d'un simulateur socio-économique dans lequel les acteurs/décideurs sont "incorporés".

2. - UN SIMULATEUR SOCIO-ECONOMIQUE : LA SIMULATION PROFESSIONNELLE

2.1 La pratique d'une Simulation Professionnelle suppose l'existence d'un support constitué par des données et des règles organisés de telle manière que les acteurs/décideurs soient en mesure de modifier les conditions structurelles initiales du système, tout en le faisant évoluer. Notre intérêt s'est plus porté sur cette "morphogénèse" que sur le développement quantitatif de telle ou telle variable particulière. Mais dans le même temps, nous avons tenté, comme on le verra ci-après, d'associer une variable caractéristique à cette morphogénèse. Il s'agit du gain net cumulé total obtenu par les décideurs à partir de l'environnement du système.

Nous avons choisi une structure initiale présentant un rapport: "potentialités morphogénétiques/nombre d'éléments du système" élevé. D'autres considérations, dont on pourra lire le détail dans notre Thèse déjà mentionnée, nous ont conduit à retenir la présence simultanée de trois acteurs (*) en interaction entre eux et avec leur environnement.

Globalement et schématiquement, cinq stratégies au moins sont alors potentiellement contenues dans les conditions initiales d'une morphogénèse du système :

- chacun pour soi;
- tous ensemble;
- trois coalitions non identiques (mais équivalentes) à deux contre un,

et cela face à un environnement physiquement distinct des acteurs.

Les acteurs peuvent, diachroniquement, utiliser ces 5 stratégies selon les moments dans différentes combinaisons synchrones.

(*) au sens déjà indiqué plus haut (en fait 3 groupes d'acteurs).

Ils réalisent ainsi la morphogénèse du système.

Le système des décisions qui fonctionne alors de façon simultanée dans une Simulation Professionnelle peut s'analyser en trois composantes:

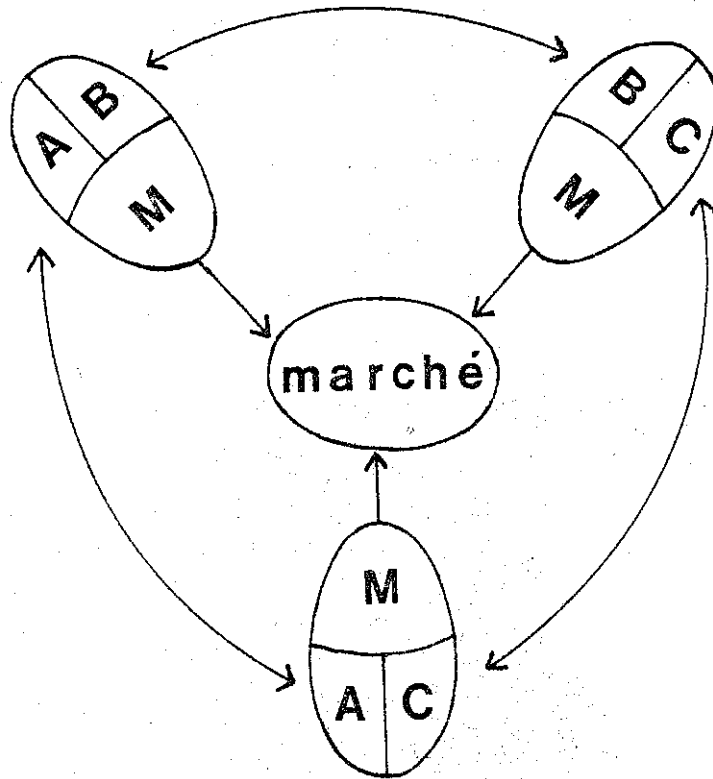
- ce qui re-structure de façon autonome le sous-système de chaque acteur;
- ce qui re-structure de façon interdépendante entre-eux les sous-systèmes des trois acteurs;
- ce qui re-structure un ou plusieurs sous-systèmes d'acteurs en raison des relations avec l'environnement.

2.2 Concrètement, chaque acteur peut, dans le cadre d'une entreprise fictive (E_i ; $i=1,2,3$) fabriquer deux des trois composants (A,B,C) nécessaires au montage d'un produit (M) que l'environnement peut absorber. Le troisième composant (qui manque à l'origine à E_i , avec C pour E_1 , A pour E_2 et B pour E_3) peut s'acquérir par voie de négoce réel entre acteurs (E_i/E_j) et/ou faire l'objet d'un investissement de capacité par un ou plusieurs acteurs.

Le négoce inter-acteurs prend formellement - d'un point de vue monétaire - l'aspect d'un jeu à somme nulle (ce que l'un paie, l'autre l'encaisse).

La relation avec l'environnement, à travers la cession des produits (M) prend formellement - du même point de vue monétaire - l'aspect d'un jeu à somme non nulle (le coût des facteurs est dans le cas général différent de la recette, d'où un gain non nul).

Ce qui précède est illustré par le schéma de la page suivante, dans lequel les flèches représentent la circulation des biens.

E₁E₂E₃

Les notations sont les suivantes :

- E_i (i=1, 2, 3) sont les entreprises fictives;
- A, B et C sont les composants du produit (M);
- M est le produit qui s'obtient selon la règle :

$$1 A + 1 B + 1 C = 1 M$$

Le Marché des produits (M) est modélisé.

Le Marché des composants (A, B, C) n'est pas modélisé.

- 2.3 Les données initiales sont organisées, comme on le voit sur le schéma de la page précédente, selon une permutation circulaire qui rend les trois éléments E1, E2 et E3 équivalents mais non identiques entre-eux dans la situation initiale.

CETTE CARACTERISTIQUE EST A LA BASE DES POTENTIALITES MORPHO-GENETIQUES DU SYSTEME QUE CONSTITUE UNE SIMULATION PROFESSIONNELLE.

Cette équivalence se retrouve également à d'autres niveaux des données initiales. Par exemple, dans le support ECODEV de Simulation Professionnelle :

- le stock initial de composants est donné par le tableau ci-dessous;

	A	B	C
E1	1 500	500	0
E2	0	1 500	500
E3	500	0	1 500

- le coût de fabrication des composants est donné par le tableau ci-dessous;

	A	B	C
E1	80	240	(*)
E2	(*)	80	240
E3	240	(*)	80

(*) coût infini dans les conditions initiales, car pas d'équipement.

On trouvera dans notre Thèse citée les données complètes du support de Simulation Professionnelle ECODEV. Nous entendons par "support" un ensemble de données et de règles, et par "Simulation Professionnelle" une pratique telle que définie plus haut.

2.4 La "recette" possible avec le produit (M) résulte d'une fonction non linéaire de la quantité vendue de ces produits. Cette recette peut être déterminée par l'entreprise E_i en consultant un tableau à deux entrées comportant :

- en colonne le prix unitaire demandé au consommateur;
- en ligne la dépense unitaire de publicité consenti par E_i ;
- à l'intersection colonne/ligne la quantité absorbée par l'ensemble des consommateurs.

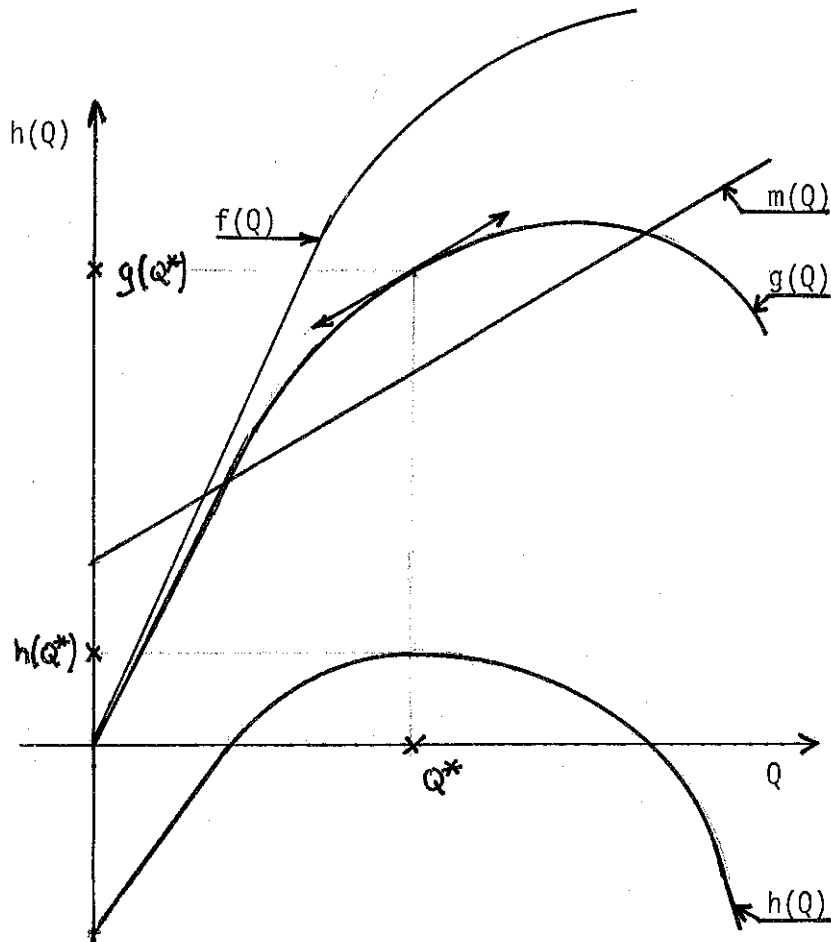
Ce tableau est le même pour les trois entreprises, E_1 , E_2 et E_3 . Il n'y a donc pas, puisque les demandes sont considérées comme additives, de compétition entre elles à ce niveau, bien que les participants l'imaginent et agissent en conséquence.

A la fonction $f(Q)$ donnant la recette (CA) pour une quantité (Q) vendue - parceque demandée et disponible - peut être associée une "graphie" $CA_{net} = g(Q)$ qui donne le chiffre d'affaires net après déduction de l'effort commercial (publicité) consenti pour la quantité (Q).

De $g(Q)$ on déduit ensuite $h(Q)$ qui donne le bénéfice brut réalisé, qui est tel que $h(Q) = g(Q) - m(Q)$, où $m(Q)$ est le coût des facteurs concourant à la production des produits (M).

C'est le cumul de $h(Q)$ sur un certain nombre de séquences et pour les trois entreprises qui constituera la variable caractéristique de l'évolution du système.

La figure de la page suivante illustre ce qui précède.



On remarque que $g_{\max}(Q) \neq g(Q^*)$.

$g(Q) = f(Q) - \text{effort commercial}(Q) = \text{CANet}$

$h(Q) = g(Q) - \text{coût des facteurs}(Q) = g(Q) - m(Q) = \text{bénéfice brut.}$

Une Simulation Professionnelle comporte un certain nombre de séquences qui ponctuent sa diachronie. A l'intérieur de chaque séquence, les processus de fabrication de composants, de montage de produits, de négoce entre entreprises et de mise sur le marché de produits (M) peuvent être simultanés. Par contre, le processus fictif permettant de passer des composants (A, B, C) au produit (M) puis au marché de ces produits comporte des délais. Il faut une séquence franche pour fabriquer un composant ou monter un produit.

- 2.5 Les acteurs/décideurs peuvent donc, dans la Simulation Professionnelle, rechercher l'optimisation de leur bénéfice cumulé sur un certain nombre de séquences. La valorisation, à un instant donné, du gain latent contenu dans les composants et dans les produits non encore cédés à l'environnement est un problème classique de valorisation de stock.

D'un point de vue purement rationnel - la capacité cognitive étant reconnue chez les acteurs - l'optimisation est non seulement possible, mais il n'existe pas de sous-optimum, comme le montre la figure de la page précédente.

Pour atteindre cet optimum, il faut et il suffit que la quantité (Q^*) correspondant au maximum $h(Q^*)$ soit produite. Ceci suppose que les trois acteurs coopèrent, ou plus exactement constituent une coalition à trois, face au quatrième partenaire qu'est l'environnement. En d'autres termes, la maximisation du bénéfice cumulé total des trois acteurs suppose qu'ils acceptent un gain nul dans leurs relations entre eux, c'est à dire qu'ils renoncent à la compétition à propos des sous-ensembles (A, B et C). Toute compétition à ce niveau rend impossible l'optimisation, voire la production de la quantité (Q^*).

- 2.6 Nous avons montré dans notre Thèse qu'une telle optimisation, étudiée sur 4 séquences consécutives, ne s'est jamais produite au cours de plus de 100 Simulations Professionnelles au cours des dix dernières années.

A l'évidence, des facteurs non rationnels interviennent donc dans les processus de décision humains. Ce constat n'est pas nouveau, mais il est généralement assorti d'explications portant sur les capacités cognitives limitée des acteurs et/ou sur la nature imparfaite de l'information à leur disposition.

Les données et règles des supports de Simulation Professionnelle (en particulier d'ECODEV que nous avons utilisé dans notre Thèse et dans le présent travail) sont telles que ces explications ne peuvent pas être retenues. Nous avons à chaque fois pu vérifier que les acteurs avaient très bien compris les règles et assimilé les données, d'ailleurs fort simples et peu nombreuses.

LA SOUS-OPTIMISATION DU SYSTEME GLOBAL APPARAÎT AINSI COMME CONCOMMITTANTE DE LA PRESENCE PHYSIQUE DU DECIDEUR HUMAIN DANS LE SIMULATEUR SOCIO-ECONOMIQUE.

C'est parceque chaque acteur recherche son propre optimum que:

- le système global reste sous-optimal;
- l'acteur n'atteint même pas son propre optimum.

2.7 Le tableau ci-après donne des résultats pour 4 sessions, les seules malheureusement pour lesquelles nos archives sont complètes.

Numéro session (1)	Cumul bénéfice (2)	Ratio (2)/8 268 000 (*)
6	2 936 495	0,355
13	3 908 432	0,472
17	3 821 250	0,462
18	3 917 500	0,473
TOTAL	14 583 677	0,441

(*) 8 268 000 représente le gain total optimal cumulé au bout de 4 séquences.

Nous comparerons à la fin de la troisième partie qui suit ce tableau à celui obtenu avec une simulation numérique comme celle qui va être décrite maintenant.

3 - UNE SIMULATION NUMERIQUE INSPIREE DE LA SIMULATION

PROFESSIONNELLE : TRIJEU.

- 3.1 : Partant des observations et considérations qui précèdent, nous allons examiner ce qui se produit lorsque le processus de décision humain est modélisé dans une simulation numérique.

Nous utiliserons pour cela une structure (de données initiales et de règles) équivalente à celle du support de Simulation Professionnelle ECODEV. Ce nouveau support, qui est un jeu de société sur micro-ordinateur commercialisé sous le nom de "TRIJEU", est rendu pour les besoins de cette étude équivalent d'ECODEV dans ses données et règles.

TRIJEU, dont la structure formelle est la même que celle d'ECODEV, existe en trois version :

- pour 3 joueurs humains;
- pour 2 joueurs humains plus un joueur "ordinateur";
- pour 1 joueur humain plus 2 joueurs "ordinateurs".

Nous avons réalisé à partir de cette troisième version un programme à 3 joueurs "ordinateurs".

S'agissant des acteurs, ils sont remplacés par des programmes informatiques tels que :

- l'optimisation du bénéfice cumulé sur longue période soit visée par chaque "joueur";
- des facteurs aléatoires - dont la survenue a comme source des nombres générés au hasard de façon équiprobable - perturbent positivement et/ou négativement cette optimisation.

- 3.2 Reprenant à notre compte certains aspects d'un exposé récent de J.MOSCAROLA à l'UNIVERSITE DE PARIS IX - DAUPHINE ("Peut-on justifier le recours au mage ?") nous allons tester l'hypothèse que la performance d'un tel système, où le hasard "fait" une partie des décisions, sera meilleure que celle obtenue par des acteurs humains supposés agir rationnellement sur les mêmes données avec les mêmes règles.

Ceci nous conduira à comparer le tableau des performances établi au § 2.7 ci-dessus à un tableau de même type obtenu avec un "TRIJEU" convenablement transformé en simulation numérique. Nous donnons ci-après l'indication des points les plus importants de cette adaptation.

- 3.3 S'agissant des données chiffrées (stocks initiaux, coût des facteurs, fonctions $f(Q)$, $g(Q)$, $h(Q)$ et $m(Q)$) ils sont les mêmes que dans ECODEV après l'adaptation. En particulier, la permutation circulaire décrite pour ECODEV est la même, et les ratios que l'on peut calculer dans ECODEV se retrouvent pour la même valeur dans le TRIJEU transformé.
Il y a donc équivalence de données entre les deux supports.
- 3.4 Dans notre version à "trois ordinateurs" de TRIJEU, les décisions des acteurs sont programmées et pour partie perturbées par des facteurs aléatoires.
- 3.4.1 Ainsi la stratégie vis à vis de l'environnement pour l'écoulement des produits (appelés "TRIPIECES" dans TRIJEU) est identique pour les trois ordinateurs, et vise à :
- maximiser le bénéfice (recette nette moins coût des facteurs);
 - assurer la "survie" à court et à moyen terme (en évitant les cessations de paiements).

Il s'agit donc d'une optimisation sous contraintes, qui s'impose de la même manière aux décideurs d'ECODEV.

- 3.4.2 Les processus de négociation réelles, possibles entre acteurs dans ECODEV sur les composants (A, B et C), ne peuvent pas être programés de façon équivalente dans TRIJEU, puisque la liberté des acteurs est totale dans ECODEV et ne se restreint que du fait des règles qu'ils se donnent à eux-mêmes.

Ces règles s'avèrent à l'observation très variées et imprévisibles. Par conséquent, elles ne sont pas programmables.

- 3.4.3 Cependant, les interactions observées se soldent concrètement par des échanges (achats et ventes de composants) dont le résultat visé est l'harmonisation, pour chacun des trois acteurs, de ses stocks (A, B et C). On se souvient en effet qu'il manque au départ un des trois composants à chacun des décideurs pour pouvoir monter des produits (M).

Etant donné que la pénurie initiale de composants ne permet pas, au cours de la première séquence, d'atteindre l'optimum dans l'assemblage des produits, une compétition (*) s'établit dans le négoce inter-acteurs, dans le cadre d'une structure d'interaction de coalition (*), les actions observées étant des contrats réciproques conditionnels (*).

En d'autres termes, les acteurs négocient "donnant-donnant", à la limite du troc. Plusieurs négociations bilatérales sont généralement observées, qui impliquent en définitive les trois acteurs par couples successifs.

On observe également des négociations à trois, simultanées, qui ne sont pas modélisables pour les raisons exposées dans la première partie de ce cahier.

Nous devons donc nous contenter, dans la simulation numérique construite à partir de TRIJEU, de modéliser ces couples successifs.

(*) pour la définition de ces termes, voir le Chapitre V de notre Thèse.

3.4.4 Dans ces conditions, un contrat réciproque conditionnel peut être programmé sous la forme d'un équilibre du stock des composants entre deux ordinateurs, comme le montrent les deux tableaux ci-après.

3.4.4.1 Stocks avant contrat.

	A	B	C
01	1 500	500	0
02	0	1 500	500
03	500	0	1 500

01, 02 et 03 sont les trois ordinateurs qui remplacent les partenaires des entreprises E1, E2 et E3.

3.4.4.2 Stocks après trois échanges entre 01 et 02.

	A	B	C
01	750	1 000	250
02	750	1 000	250
03	500	0	1 500

3.4.5 Nous avons à ce niveau introduit une première composante aléatoire dans la simulation numérique, en tirant au hasard l'ordre de succession de trois couples de partenaires (par exemple l'ordre 01/03 ; 03/02 ; 02/01) qui passeront donc successivement entre eux un contrat réciproque conditionnel (chaque contrat devant comprendre trois échanges : l'un sur A, l'autre sur B et le dernier sur C).
Cela représente donc 3 contrats passés dans un ordre aléatoire au cours de la première séquence.

Ainsi s'introduit une dissymétrie d'origine aléatoire dans le système, car le nombre fini de contrats ne permet pas d'atteindre un équilibre parfait des stocks.

Dans le simulateur numérique contruit, cette dissymétrie sera évidemment à l'origine d'une morphogénèse spécifique d'une simulation donnée. D'ailleurs, l'arbre morphogénétique ne comporte, compte tenu des limitations que nous nous sommes imposées, que trois branches maitresses.

- 3.4.6 Dans la seconde séquence, les échanges éventuels entre ordinateurs seront, par analogie avec ce que l'on observe dans ECODEV (avec des acteurs humains), réglés autrement.

Dès lors qu'une compétition s'est instaurée au cours de la première séquence, un rapport de forces en résulte. Ce dernier conditionne les échanges ultérieurs ainsi que les structures de coalition qui leur sont associés. Un tel rapport de forces peut être chiffré, de façon arbitraire mais vraisemblable, à partir des "actifs" (composants A,B,C; TRIPIECES; en-caisse) de chaque ordinateur.

On observe d'ailleurs que les décideurs d'ECODEV font une telle appréciation, globalement et subjectivement, donc également arbitrairement.

- 3.4.7 Il nous a fallu trouver le moyen de "transporter" dans TRIJEU ce qui est dit ci-dessus.

Il se trouve que les travaux de CAPLOW(1956) et VINACKE(1964), déjà analysés dans notre Thèse, nous donnent la possibilité de le faire.

CAPLOW a produit une théorie des coalitions dans les triades, et VINACKE a fourni des résultats expérimentaux avec un groupe de 720 sujets.

La théorie de CAPLOW permet de prévoir, en fonction des différents rapports de forces, les coalitions qui se formeront, à deux ou trois joueurs.

Les résultats de VINACKE permettent de doter la théorie de CAPLOW d'une structure de probabilités. En effet, les coalitions non prévues par la théorie se produisent néanmoins dans un certain nombre de cas, et les fréquences observées peuvent être prises en tant que probabilités. C'est ce que nous avons fait.

Ainsi, à partir de la deuxième séquence de cette version adaptée de TRIJEU, les échanges entre ordinateurs sont réglés :

- par un facteur objectif : le rapport des forces en présence;
- par un facteur aléatoire; le type de coalition effectivement réalisé.

Il n'est pratiqué qu'une (ou aucune selon le tirage au hasard) coalition, et donc qu'un (ou aucun) contrat réciproque conditionnel, par analogie avec ce qui se passe grosso modo dans ECODEV.

- 3.4.8 Comme nous l'avons indiqué plus haut (§ 2.2) l'investissement de capacité pour la fabrication du composant initialement manquant est un aspect de la morphogénèse du système. La version commerciale de TRIJEU a donc été transformée pour présenter cette possibilité, de façon équivalente à ECODEV. Quant au choix stratégique que constitue pour les décideurs humains d'ECODEV cet investissement, l'observation montre qu'ils le font dès que cela leur est possible. Les négociations n'en sont pas pour autant supprimées, mais elles deviennent moins conflictuelles, parceque moins nécessaires. Il n'en reste pas moins qu'une proportion à notre avis alarmante de cadres que nous avons observé dans cette situation sont angoissés par toute idée de négociation, et préfèrent investir !

Dans le simulateur numérique construit à partir de TRIJEU, nous programmons cet investissement en le rendant automatique dès que les conditions financières sont réunies, soit 50 % de son montant disponible en caisse.

3.4.9 Le dernier élément de décision à programmer par analogie avec ECODEV concerne la fabrication des composants.

A cet égard, la règle d'ECODEV impose une dépense incompressible mais extensible pour le coût total :

(assemblage des produits (M) + fabrication de pièces)

Cette fabrication de pièces peut bien sûr être répartie entre les types A, B et C pour autant que l'équipement existe.

L'observation montre que les décideurs humains assemblent autant de produits qu'il est possible, compte tenu des composants disponibles, et de la règle :

$$1 A + 1 B + 1 C = 1 M$$

Mais cette quantité est généralement limitée par la pénurie d'un des composants (pas nécessairement le même dans chaque entreprise). Cela laisse donc une somme disponible, par rapport au minimum de dépense exigé, pour la fabrication de composants.

Avant un investissement de capacité, deux composants seulement (A et B ou B et C ou C et A) peuvent être fabriqués par un des décideurs.

Là encore, l'observation d'ECODEV montre que, compte tenu des stocks existants, les décisions de fabrication visent à avoir un stock final équilibré ($A = B$, ou $B = C$, ou $C = A$). Il en est de même après l'investissement de capacité, l'égalité numérique des stocks finals étant alors recherchée pour les trois pièces ($A = B = C$).

La programmation des fabrications de composants est donc faite de façon à obtenir des "décisions" similaires à celles des humains dans le simulateur numérique.

- 3.5 Avant de présenter les résultats obtenus avec cette version transformée de TRIJEU, et de les comparer à ceux obtenus par des décideurs humains dans ECODEV, une précision s'impose.

Dans ECODEV, on observe - et c'est d'ailleurs le but visé avec cet outil pédagogique - un apprentissage qui conduit les acteurs, à long terme, à de meilleures performances dès lors qu'ils sont contraints, pour des raisons de survie, à choisir une coopération à trois, ou plus exactement à se coaliser à trois contre le quatrième partenaire impersonnel que constitue le marché des produits (M).

Une telle coalition n'est pas programmée dans TRIJEU transformé (pas plus d'ailleurs que dans le TRIJEU d'origine), ce qui laisse prévoir une moindre optimisation du système global et partant une moindre performance dans le bénéfice cumulé.

Ainsi, si les performances obtenues par les ordinateurs restent malgré tout meilleures que celles des acteurs humains (comme on le voit plus loin), notre hypothèse formulée au § 3.2 sera d'autant plus vraisemblable.

- 3.6 Sur le simulateur numérique adapté de TRIJEU, nous aurions pu générer un grand nombre de sessions. Nous n'en retenons en définitive que cinq, pour les raisons suivantes :

- nous ne disposons que de quatre sessions à archives complètes pour ECODEV; nous n'avons pas voulu déséquilibrer la comparaison des résultats;
- on constate de toute façon une forte redondance dans la dynamique des sessions sur simulateur numérique, ce que nous avons prévu (cf. § 3.4.5 plus haut).

3.7 Voici, présentés sous la même forme que pour ECODEV au § 2.7 les résultats obtenus avec TRIJEU transformé.

Numéro session (1)	Cumul bénéfice (2)	Ratio (2)/8 268 000 (*)
1	4 518 138	0,546
2	5 011 132	0,606
3	4 069 365	0,492
4	5 073 132	0,613
5	5 221 800	0,631
TOTAL	23 893 567	0,578

(*) 8 268 000 représente comme dans ECODEV le gain total optimal cumulé au bout de 4 séquences.

Dans chacune de ces sessions, il y a eu une ou plusieurs coalitions, et un ou plusieurs investissement de capacité. Les stratégies "programmées" ont donc fonctionné de façon tout à fait comparable avec ce que font des décideurs humains.

Pourtant les résultats sont à l'évidence différents, et semblent nettement meilleurs dans le simulateur numérique que dans la Simulation Professionnelle. Nous allons analyser cette différence dans les conclusions qui suivent.

4 - CONCLUSIONS

4.1 En comparant les résultats obtenus :

- en Simulation Professionnelle avec le support ECODEV et des décideurs humains;
- en simulation numérique avec un TRIJEU transformé et des décisions programmées et partiellement probabilisées,

nous devons être prudents car les échantillons sont de faible taille. Ils ne se prêtent donc pas à un traitement statistique. Nous avons simplement élaboré une moyenne dans les tableaux des § 2.7 et 3.7

4.2 Toutefois, on ne peut manquer d'être frappé par le fait que la performance maximale en Simulation Professionnelle (soit 0,473) reste inférieur à la performance minimale en simulation numérique (soit 0,492).

Au total, la performance n'atteint que 0,441 en moyenne dans la Simulation Professionnelle contre 0,578 en moyenne dans la simulation numérique.

4.3 Notre hypothèse, selon laquelle il en serait ainsi, n'est certes pas statistiquement établie, mais elle sort néanmoins renforcée de cette comparaison.

Dans l'ensemble, les "stratégies", étape par étape et séquence par séquence de la simulation numérique sont tout à fait comparables à celles observées dans une Simulation Professionnelle. Si les résultats semblent cependant meilleurs en simulation numérique, on peut en déduire que le hasard ferait mieux les choses que les humains.

Pourquoi ? Peut-on dire, en paraphrasant J.MOSCAROLA : "il vaut mieux faire appel au mage.." ?

- 4.4 Prenons par exemple la simulation numérique numéro 5.
 En dehors des contrats conditionnels "forcés" de la séquence 1, il n'y a eu qu'une seule coalition, dans la séquence 3.
 Aucune "entreprise-ordinateur" n'a pu investir en capacité avant la séquence 4, ce qui signifie qu'aucune "entreprise-ordinateur" n'aurait, compte tenu des délais, été autonome pour la fabrication des composants (A, B, C) avant la séquence 5, et sur le marché des produits (M) avant la séquence 6.
 Pourtant, cette session donne les meilleurs résultats de l'échantillon, soit 0,631.
 L'absence de "concertation", de "négociations", de "consensus" n'a donc pas été pénalisante semble-t-il.
- 4.5 L'hypothèse que nous pouvons formuler pour expliquer les médiocres performances des acteurs/décideurs humains dans la Simulation Professionnelle serait que, bien qu'ils négocient et établissent des coalitions, les conséquences en seraient fâcheuses.
 Pourquoi ?
 Selon nous, parce que l'esprit de compétition domine tout le processus (pour des raisons culturelles) et le "pollue" en quelque sorte.
 Dès lors, les négociations apparentes cacheraient en fait un désir, (peut être inconscient) de détruire le partenaire.
- 4.6 Il se trouve alors que du sous-système fermé dans lequel se déroule le négoce "altéré" sur les sous-ensembles (A, B, C - jeu à somme nulle) n'émerge qu'une sous-optimisation dans le système complet englobant l'environnement (marché des produits (M) - jeu à somme non nulle).
- On se souviendra à cet égard que le commerce international des humains sur la planète Terre constitue aussi, du point de vue monétaire, un jeu à somme nulle, puisqu'il n'y a pas (encore !) d'échanges avec des extra-terrestres. Il y a là un facteur explicatif de l'actuelle crise mondiale qu'à notre connaissance aucun économiste n'a encore véritablement mis en lumière.

En d'autres termes, l'exaspération de la compétition, voire cette compétition elle-même, dans le commerce international, serait de nature à sous-optimiser le "jeu avec la Nature", c'est à dire l'utilisation harmonieuse des ressources naturelles pour le développement du bien-être humain.

Il est assez étonnant de constater, comme nous le faisons depuis dix ans en observant des cadres en situation de Simulation Professionnelle, que ceux-ci ne mettent que quelques jours, voire quelques heures pour mettre à bas des entreprises saines et mettre en situation de crise un secteur industriel entier.

Par ailleurs, s'il nous est permis de faire une observation à propos de l'inflation, ne serait-elle pas due simplement à une tentative des agents économiques de restaurer le semblant d'un gain dans un jeu monétaire qui est à somme nulle ? Le gain ne peut - bien qu'artificiel - provenir que d'une inflation par la création de monnaie. Et il se trouve que nos économies modernes sont de moins en moins "physiques" et de plus en plus "monétaires".

- 4.7 Nous avons montré également dans la première partie (cf. § 1.4) que la contrainte d'une mathématique limitée aux relations binaires constitue un handicap sérieux pour le modélisateur des systèmes socio-économiques.

Dans le moindre de ces systèmes, il y a au moins trois partenaires, ce qui conduit à des synchronies spécifiques qu'une succession de relations binaires ne permet de modéliser qu'avec des biais considérables et restant le plus souvent cachés.

En particulier, les modèles informatiques de simulations numériques imposent un ordre de calcul des relations binaires multiples. Or il est facile de montrer (cf. NAEGEL, 1980) que du choix de cet ordre dépend le régime transitoire calculé pour le système. A ordre différent, régime transitoire différent.

Chacun peut observer aujourd'hui que, sauf exception, les systèmes socio-économiques se trouvent depuis une décennie essentiellement en régime transitoire, par suite des "crises" successives, et que la modélisation du régime établi présente moins d'intérêt qu'il y a 20 ans.

IL NOUS PARAÎT ESSENTIEL D'ARRIVER À INTERESSER DES MATHÉMATICIENS À LA RECHERCHE D'UNE FORMULATION DE RELATIONS TERNAIRES, qui nous semblent indispensables dans la modélisation des systèmes socio-économiques.

L'idée de structure et de relation ternaire est dans "les esprits" depuis longtemps, mais semble régulièrement se diluer dès qu'elle fait surface. À titre d'illustration de nos propos, nous avons recueilli en quelques jours les sigles, manifestement ternaires, d'un certain nombre d'organisations. Nous les reproduisons en annexe. Certains d'entre-eux sont particulièrement frappants dans la suggestion d'une relation de chacun des éléments à l'autre, et de chacun des éléments à un même quatrième. Le lecteur pourra comparer ces sigles - qui par parenthèse n'existaient pas il y a seulement 3 ou 4 ans - à notre schéma de support de Simulation Professionnelle, établi lui pour la première fois en 1974. (cf. §2.2)

- 4.8 Qu'il nous soit permis pour terminer d'inciter les modélisateurs de systèmes socio-économiques à la prudence lorsque, pour intégrer en tant que sous-modèle le décideur humain dans un modèle global, ils remplacent ce décideur, dans des simulations numériques, par des programmes probabilisés.

Comme nous pensons l'avoir montré, de telles simulations numériques donnent des résultats qui peuvent être meilleurs que ce qu'un même système de données et de règles produirait comme résultats lorsqu'il est animé par des acteurs humains.

AINSI, DANS UN CERTAIN NOMBRE DE CAS, LA SIMULATION NUMÉRIQUE PEUT FAIRE ILLUSION.

REFERENCES

CAPLOW T., "A theory of coalitions in the triad", American Sociological Review, 21-4 (1956), 489-493.

NAEGEL P., Processus de décision en situation de simulation professionnelle, Mémoire de DEA, Université de Paris-Dauphine, 1979/1980, 83 p.

NAEGEL P., "Nouvelles frontières pour l'enseignement assisté par ordinateur", Bureau Gestion, 40 (1982), 27-30.

NAEGEL P., Coopération et compétition dans les organisations - Recherche d'une modélisation, Thèse de 3e cycle, Université de Paris-Dauphine, 1982, 161 p. + annexe 37 p.

PRIGOGINE I. et STENGERS I., "La nouvelle alliance", Paris, Gallimard, 1979, 302 p.

VINACKE W.E., "Puissance, stratégie et formation de coalitions dans les triades dans quatre conditions expérimentales", Bull. C.E.R.P., XIII-3 (1964), 119-144.

ANNEXE



Alain KERVADEC - Psychologue du travail
5, place de la Liberté → 22000 Saint-Brieuc
Tél.(96) 33.23.88.



THOMSON-CSF
COMMUNICATIONS



HELIOS STRECO DURANDO

ROUSSEL UCLAF



DSM :
CHIMIE ÉNERGIE
CONSTRUCTION
ENGRAIS.

DSM



**Ressources
& Développement**
6, rue Casimir Delavigne - 75006 PARIS



SASM



sogelerg
ingénierie



EQUIPES ET ENTREPRISES
11 bis rue Portalis 75008 PARIS - Tél. 293.18.72