

USTL

FLANDRES ARTOIS

50376
1989
287

LIFT U.A 369 du C.N.R.S.

50376
1989
287

LABORATOIRE D'INFORMATIQUE FONDAMENTALE DE LILLE

d'ordre: 449

THÈSE

Nouveau Régime

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE FLANDRES ARTOIS

pour obtenir le titre de

DOCTEUR en INFORMATIQUE

par

Luc BUISINE

**SPECIFICATION
D'UNE ARCHITECTURE MULTI-EXPERTS
POUR LA SIMULATION FINANCIERE
D'ENTREPRISE.**

Informatique des organisations socio-économiques

VS

Organisation socio-économique des univers informatiques.



030 024152 6

Thèse soutenue le 5 décembre 1989 devant la commission d'Examen.

Membres du jury:

V. Cordonnier

Président

J.P. Delahaye

Rapporteur

F. Rechenmann

Rapporteur

G. Comyn

Directeur de thèse

J.P. Raman

Examineur.

A. Dussauchoy

Examineur

UNIVERSITE DES SCIENCES
ET TECHNIQUES DE LILLE
FLANDRES ARTOIS

DOYENS HONORAIRES DE L'ANCIENNE FACULTE DES SCIENCES

M.H. LEFEBVRE, M. PARREAU.

PROFESSEURS HONORAIRES DES ANCIENNES FACULTES DE DROIT
ET SCIENCES ECONOMIQUES, DES SCIENCES ET DES LETTRES

MM. ARNOULT, BONTE, BROCHARD, CHAPPELON, CHAUDRON, CORDONNIER, DECUYPER,
DEHEUVELS, DEHORS, DION, FAUVEL, FLEURY, GERMAIN, GLACET, GONTIER, KOURGANOFF,
LAMOTTE, LASSERRE, LELONG, LHOMME, LIEBAERT, MARTINOT-LAGARDE, MAZET, MICHEL,
PEREZ, ROIG, ROSEAU, ROUELLE, SCHILTZ, SAVARD, ZAMANSKI, Mes BEAUJEU, LELONG.

PROFESSEUR EMERITE

M. A. LEBRUN

ANCIENS PRESIDENTS DE L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

MM. M. PAREAU, J. LOMBARD, M. MIGEON, J. CORTOIS.

PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE LILLE FLANDRES ARTOIS

M. A. DUBRULLE.

PROFESSEURS - CLASSE EXCEPTIONNELLE

M. CONSTANT Eugène	Electronique
M. FOURET René	Physique du solide
M. GABILLARD Robert	Electronique
M. MONTREUIL Jean	Biochimie
M. PARREAU Michel	Analyse
M. TRIDOT Gabriel	Chimie Appliquée

PROFESSEURS - 1ère CLASSE

M. BACCHUS Pierre	Astronomie
M. BIAYS Pierre	Géographie
M. BILLARD Jean	Physique du Solide
M. BOILLY Bénoni	Biologie
M. BONNELLE Jean-Pierre	Chimie-Physique
M. BOSCOQ Denis	Probabilités
M. BOUGHON Pierre	Algèbre
M. BOURIQUET Robert	Biologie Végétale
M. BREZINSKI Claude	Analyse Numérique

M. BRIDOUX Michel
 M. CELET Paul
 M. CHAMLEY Hervé
 M. COEURE Gérard
 M. CORDONNIER Vincent
 M. DAUCHET Max
 M. DEBOURSE Jean-Pierre
 M. DHAINAUT André
 M. DOUKHAN Jean-Claude
 M. DYMENT Arthur
 M. ESCAIG Bertrand
 M. FAURE Robert
 M. FOCT Jacques
 M. FRONTIER Serge
 M. GRANELLE Jean-Jacques
 M. GRUSON Laurent
 M. GUILLAUME Jean
 M. HECTOR Joseph
 M. LABLACHE-COMBIER Alain
 M. LACOSTE Louis
 M. LAVEINE Jean-Pierre
 M. LEHMANN Daniel
 Mme LENOBLE Jacqueline
 M. LEROY Jean-Marie
 M. LHOMME Jean
 M. LOMBARD Jacques
 M. LOUCHEUX Claude
 M. LUCQUIN Michel
 M. MACKE Bruno
 M. MIGEON Michel
 M. PAQUET Jacques
 M. PETIT Francis
 M. POUZET Pierre
 M. PROUVOST Jean
 M. RACZY Ladislas
 M. SALMER Georges
 M. SCHAMPS Joel
 M. SEGUIER Guy
 M. SIMON Michel
 Melle SPIK Geneviève
 M. STANKIEWICZ François
 M. TILLIEU Jacques
 M. TOULOTTE Jean-Marc
 M. VIDAL Pierre
 M. ZEYTOUNIAN Radyadour

2

Chimie-Physique
 Géologie Générale
 Géotechnique
 Analyse
 Informatique
 Informatique
 Gestion des Entreprises
 Biologie Animale
 Physique du Solide
 Mécanique
 Physique du Solide
 Mécanique
 Métallurgie
 Ecologie Numérique
 Sciences Economiques
 Algèbre
 Microbiologie
 Géométrie
 Chimie Organique
 Biologie Végétale
 Paléontologie
 Géométrie
 Physique Atomique et Moléculaire
 Spectrochimie
 Chimie Organique Biologique
 Sociologie
 Chimie Physique
 Chimie Physique
 Physique Moléculaire et Rayonnements Atmosph.
 E.U.D.I.L.
 Géologie Générale
 Chimie Organique
 Modélisation - calcul Scientifique
 Minéralogie
 Electronique
 Electronique
 Spectroscopie Moléculaire
 Electrotechnique
 Sociologie
 Biochimie
 Sciences Economiques
 Physique Théorique
 Automatique
 Automatique
 Mécanique

PROFESSEURS - 2ème CLASSE

M. ALLAMANDO Etienne
 M. ANDRIES Jean-Claude
 M. ANTOINE Philippe
 M. BART André
 M. BASSERY Louis

Composants Electroniques
 Biologie des organismes
 Analyse
 Biologie animale
 Génie des Procédés et Réactions Chimiques

Mme BATTIAU Yvonne
 M. BEGUIN Paul
 M. BELLET Jean
 M. BERTRAND Hugues
 M. BERZIN Robert
 M. BKOUICHE Rudolphe
 M. BODARD Marcel
 M. BOIS Pierre
 M. BOISSIER Daniel
 M. BOIVIN Jean-Claude
 M. BOUQUELET Stéphane
 M. BOUQUIN Henri
 M. BRASSELET Jean-Paul
 M. BRUYELLE Pierre
 M. CAPURON Alfred
 M. CATTEAU Jean-Pierre
 M. CAYATTE Jean-Louis
 M. CHAPOTON Alain
 M. CHARET Pierre
 M. CHIVE Maurice
 M. COMYN Gérard
 M. COQUERY Jean-Marie
 M. CORIAT Benjamin
 Mme CORSIN Paule
 M. CORTOIS Jean
 M. COUTURIER Daniel
 M. CRAMPON Norbert
 M. CROSNIER Yves
 M. CURGY Jean-Jacques
 Mlle DACHARRY Monique
 M. DEBRABANT Pierre
 M. DEGAUQUE Pierre
 M. DEJAEGER Roger
 M. DELAHAYE Jean-Paul
 M. DELORME Pierre
 M. DELORME Robert
 M. DEMUNTER Paul
 M. DENEL Jacques
 M. DE PARIS Jean Claude
 M. DEPRez Gilbert
 M. DERIEUX Jean-Claude
 Mlle DESSAUX Odile
 M. DEVRAINNE Pierre
 Mme DHAINAUT Nicole
 M. DHAMELIN COURT Paul
 M. DORMARD Serge
 M. DUBOIS Henri
 M. DUBRULLE Alain
 M. DUBUS Jean-Paul
 M. DUPONT Christophe
 Mme EVRARD Micheline
 M. FAKIR Sabah
 M. FAUQUAMBERGUE Renaud

3

Géographie
 Mécanique
 Physique Atomique et Moléculaire
 Sciences Economiques et Sociales
 Analyse
 Algèbre
 Biologie Végétale
 Mécanique
 Génie Civil
 Spectroscopie
 Biologie Appliquée aux enzymes
 Gestion
 Géométrie et Topologie
 Géographie
 Biologie Animale
 Chimie Organique
 Sciences Economiques
 Electronique
 Biochimie Structurale
 Composants Electroniques Optiques
 Informatique Théorique
 Psychophysologie
 Sciences Economiques et Sociales
 Paléontologie
 Physique Nucléaire et Corpusculaire
 Chimie Organique
 Tectonique Géodynamique
 Electronique
 Biologie
 Géographie
 Géologie Appliquée
 Electronique
 Electrochimie et Cinétique
 Informatique
 Physiologie Animale
 Sciences Economiques
 Sociologie
 Informatique
 Analyse
 Physique du Solide - Cristallographie
 Microbiologie
 Spectroscopie de la réactivité Chimique
 Chimie Minérale
 Biologie Animale
 Chimie Physique
 Sciences Economiques
 Spectroscopie Hertzienne
 Spectroscopie Hertzienne
 Spectrométrie des Solides
 Vie de la firme (I.A.E.)
 Génie des procédés et réactions chimiques
 Algèbre
 Composants électroniques

M. FONTAINE Hubert
 M. FOUQUART Yves
 M. FOURNET Bernard
 M. GAMBLIN André
 M. GLORIEUX Pierre
 M. GOBLOT Rémi
 M. GOSSELIN Gabriel
 M. GOUDMAND Pierre
 M. GOURIEROUX Christian
 M. GREGORY Pierre
 M. GREMY Jean-Paul
 M. GREVET Patrice
 M. GRIMBLOT Jean
 M. GUILBAULT Pierre
 M. HENRY Jean-Pierre
 M. HERMAN Maurice
 M. HOUDART René
 M. JACOB Gérard
 M. JACOB Pierre
 M. Jean Raymond
 M. JOFFRE Patrick
 M. JOURNEL Gérard
 M. KREMBEL Jean
 M. LANGRAND Claude
 M. LATTEUX Michel
 Mme LECLERCQ Ginette
 M. LEFEBVRE Jacques
 M. LEFEBVRE Christian
 Melle LEGRAND Denise
 Melle LEGRAND Solange
 M. LEGRAND Pierre
 Mme LEHMANN Josiane
 M. LEMAIRE Jean
 M. LE MAROIS Henri
 M. LEROY Yves
 M. LESENNE Jacques
 M. LHENAFF René
 M. LOCQUENEUX Robert
 M. LOSFELD Joseph
 M. LOUAGE Francis
 M. MAHIEU Jean-Marie
 M. MAIZIERES Christian
 M. MAURISSON Patrick
 M. MESMACQUE Gérard
 M. MESSELYN Jean
 M. MONTEL Marc
 M. MORCELLET Michel
 M. MORTREUX André
 Mme MOUNIER Yvonne
 Mme MOUYART-TASSIN Annie Françoise
 M. NICOLE Jacques
 M. NOTELET Francis
 M. PARSY Fernand

4

Dynamique des cristaux
 Optique atmosphérique
 Biochimie Sturcturale
 Géographie urbaine, industrielle et démog.
 Physique moléculaire et rayonnements Atmos.
 Algèbre
 Sociologie
 Chimie Physique
 Probabilités et Statistiques
 I.A.E.
 Sociologie
 Sciences Economiques
 Chimie Organique
 Physiologie animale
 Génie Mécanique
 Physique spatiale
 Physique atomique
 Informatique
 Probabilités et Statistiques
 Biologie des populations végétales
 Vie de la firme (I.A.E.)
 Spectroscopie hertzienne
 Biochimie
 Probabilités et statistiques
 Informatique
 Catalyse
 Physique
 Pétrologie
 Algèbre
 Algèbre
 Chimie
 Analyse
 Spectroscopie hertzienne
 Vie de la firme (I.A.E.)
 Composants électroniques
 Systèmes électroniques
 Géographie
 Physique théorique
 Informatique
 Electronique
 Optique-Physique atomique
 Automatique
 Sciences Economiques et Sociales
 Génie Mécanique
 Physique atomique et moléculaire
 Physique du solide
 Chimie Organique
 Chimie Organique
 Physiologie des structures contractiles
 Informatique
 Spectrochimie
 Systèmes électroniques
 Mécanique

M. PECQUE Marcel
M. PERROT Pierre
M. STEEN Jean-Pierre

5
Chimie organique
Chimie appliquée
Informatique



Je remercie les membres du jury:

Vincent Cordonnier pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury

Jean Paul Delahaye pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail, dès ses débuts, et pour son accueil au sein de l'équipe d'I.A.G.L.

François Rechenmann qui a contribué à motiver mes projets initiaux lors de l'école d'été de Grenoble de 1986

Jean Pierre Raman pour le temps qu'il m'a consacré et l'aide précieuse qu'il m'a apportée

Alain Dussauchoy d'avoir accepté de participer à ce jury et pour l'intérêt qu'il manifeste envers mes travaux

Gérard Comyn à qui j'exprime toute ma gratitude d'avoir rendu ce travail possible par l'amitié et la confiance qu'il m'a toujours manifestées, par sa constante disponibilité et le soin attentif avec lequel il a dirigé mes travaux. Ces années de travail en commun m'ont énormément appris.

Je tiens à associer à ces remerciements les membres du LIFL et du LAST (Sciences Economiques) dont les conseils ont profité à ce travail. Je remercie tout particulièrement Frank Vandevelde qui, par les discussions que nous avons eues, a contribué à enrichir ce travail et qui, il y a quelques années et en Economie, a guidé mes premiers dans le domaine de la recherche.

Le travail ne doit s'arrêter qu'à ma
 compagnie et mes enfants qui à force
 d'ennuagements l'ont fait réalité: il
 leur est si si.

"Toute vérité nouvelle naît malgré
 l'évidence, toute expérience nouvelle naît malgré
 l'expérience immédiate..."

On démontre le réel, on ne le montre pas."

Gaston Bachelard

"Le nouvel esprit scientifique"

SOMMAIRE.

INTRODUCTION	13
I DES CARACTERISTIQUES DES EXPERTISES FINANCIERES	
AUX CARACTERISTIQUES DES S.E. FINANCIERS.	25
I.1 SYSTEMES EXPERTS ET ANALYSE FINANCIERE: BILAN CRITIQUE.	29
I.1.1 Deux exemples de S.E. en analyse financière.	30
I.1.1.1 Architecture du système FINEX.	30
I.1.1.2 Architecture du système risque-client.	33
I.1.2 Caractérisation des S.E. en analyse financière.	36
1) Des S.E. pour diagnostiquer l'entreprise de l'autre.	36
2) Une approche financière basée sur une analyse de ratios.	39
I.1.3. Caractérisation des S.E. financiers: conclusion	43
I.2 UNE APPROCHE FINANCIERE EN TERMES DE SIMULATION DU FUTUR.	47
I.2.1. Caractéristiques de la PME et rejet du modèle néo-classique de comportement rationnel optimal.	51
1) Rationalité limitée et objectif de la firme.	52
2) Rationalité limitée et gestion sous contraintes.	55
II.2.2 Contraintes et risques d'incompatibilité entre les équilibres partiels.	57
1) Contraintes d'exploitation, objectif de résultat et de chiffre d'affaires nécessaire.	58
2) Rentabilité et chiffre d'affaires autorisé.	61
3) Equilibres partiels et équilibre général.	63
4) Typologie des déséquilibres et pratique de l'expertise.	64

I.3.ANALYSE DE LA CONNAISSANCE.	67
I.3.1. Choix d'une technique I.A.	69
1) Rationalité limitée et analyse financière.	69
2) Un peu d'histoire...	70
I.3.2. Caractéristiques de l'expertise et leurs conséquences sur la structure du système expert.	73
1) Le responsable de PME participe au processus de résolution.	74
2) Logique de situation, raisonnement opportuniste, et représentation distribuée de l'expertise.	77
I.4. CONCLUSION DU CHAPITRE I	85
II MODELES DE CONTROLE EN UNIVERS MULTI-AGENTS.	89
II.1 INTRODUCTION: POSITION DU PROBLEME.	91
II.1.1 La métaphore fondatrice de l'I.A.D.	91
II.1.2 Bénéfices attendus de la distribution de l'expertise.	95
II.1.3 Dichotomie micro/macro et conflit connaissance limitée VS cohérence globale	98
II.1.4 Dépendance communication/contrôle/aptitude sociale	102
1) Nombre de niveaux de contrôle.	102
2) Connaissances de contrôle et capacité sociale des agents chargés du contrôle.	103
3) Maturité sociale des agents et nombre de niveaux de contrôle.	103
4) Maturité sociale des agents et modèle de communication.	104
II.1.5 Architectures I.A.D. et problème du contrôle.	105

II.2 COMMUNICATION DIRECTE ET CONTROLE DISTRIBUE.	111
II.2.1 Le modèle du réseau de contrats.	111
II.2.1.1 Le principe.	111
II.2.1.2 Implémentation.	112
1) Contexte.	112
2) Définitions.	113
3) Le langage inter-noeuds.	114
4) Applications.	118
II.2.1.3 Intérêts du modèle du réseau de contrats.	120
1) Self-organization et opportunistic connexion.	120
2) Contexte d'invocation d'une connaissance.	121
II.2.2. Les modèles B.N.B.: "to bid or not to bid."	123
II.2.2.1 Les limites du modèle du réseau de contrats.	123
1) Conflit micro/macro.	123
2) Réseau de contrats et conflit micro/macro.	125
3) Comment constituer les agents informatiques en un groupe organisé ?	128
II.2.2.2. Problème d'affectation globalement cohérente: le modèle B.N.B_1.	131
1) Principe.	131
2) Fondements économiques du modèle B.N.B.	135
3) Apport du modèle B.N.B.: comment distribuer l'information globale.	137
4) B.N.B_1: généralisation.	139
II.2.2.4. Problème de répartition globalement cohérente: le modèle B.N.B_2.	153
1) Connection VS répartition.	153
2) Le modèle.	157
II.2.3 Communication directe & contrôle distribué: conclusion.	165
1) Réseau de contrats et conflit micro/macro.	165
2) Rationalité collective interne/externe à l'agent	167
3) Apport du modèle B.N.B.: intégration micro/macro et distribution de l'information globale.	168
4) Limites du modèle BNB.	171
5) Intérêt épistémologique.	173

II.3 LE MODELE DU TABLEAU NOIR.	175
II.3.1 Principe.	179
II.3.1.1 La métaphore.	180
II.3.1.2 Comportement cognitif attendu d'un système à base de tableau noir.	183
II.3.1.3 Implémentation.	185
1) Le tableau noir.	185
2) Les propositions.	186
3) Les relations entre propositions.	186
4) Les sources de connaissances.	187
II.3.2 Problématique du contrôle dans les architectures de tableau noir.	188
II.3.2.1 Position du problème.	188
II.3.2.2 Modèles de contrôle dans les architectures de tableau noir.	193
1) Contrôle centralisé de type procédural.	193
2) Contrôle hiérarchique déclaratif.	200
3) Modèle de contrôle hiérarchique à base de tableau noir	212
II.4 MODELES DE CONTROLE EN UNIVERS MULTI-AGENTS: CONCLUSION	223
1) Réseau de contrats	224
2) Modèle du tableau noir	226
III ARCHITECTURE DU SYSTEME SIMFIDE	229
III.1 SCHEMA FONCTIONNEL DE L'APPLICATION.	233
III.1.1 Introduction des données relatives à la période courante.	234
III.1.2 Qualification des contraintes spécifiques à l'entreprise.	239
III.1.3 Saisie des objectifs et prévisions.	241
III.1.4 Simulation.	242
III.1.5 Analyse de la situation de l'entreprise.	244
III.1.6 Elaboration d'une stratégie.	246

III.2. IMPLEMENTATION DU MODULE EXPERT D'AIDE A L'ELABORATION D'UNE STRATEGIE.	251
III.2.1 Problème décomposable, points de vue multiples, et représentation distribuée	253
1) Décomposabilité du problème.	253
2) Points de vue multiples.	254
3) Représentation distribuée de l'expertise.	260
III.2.2 Hiérarchie des S.C. et mécanisme de contrôle.	261
III.2.2.1 Principes généraux.	261
1) Tableau noir et contrôle hiérarchique.	261
2) Nature des connaissances de contrôle et représentation des connaissances stratégiques.	264
III.2.2.2 Fonctions et structure du tableau noir.	266
1) Découpage du tableau noir en plans hiérarchisés.	267
2) Structuration des objets du tableau noir.	268
3) Utilité du tableau noir.	273
4) Interprétation de la séquence des plans du tableau noir.	284
III.2.2.3 Structure et comportement des sources de connaissances dans SIMFIDE.	289
1) Comportement d'une S.C.	289
2) structure des sources de connaissances.	296
III.3. SIMFIDE: CONCLUSION.	305
III.3.1 SIMFIDE et la problématique du contrôle dans les architectures de tableau noir.	305
III.3.2 Comportement du système.	308
1) Souplesse et Interactivité.	308
2) Représentation des connaissances stratégiques et raisonnement opportuniste.	310
CONCLUSION	313
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	321

INTRODUCTION

Un double bagage en sciences économiques et en informatique nous a amené à inscrire ce travail au carrefour de trois disciplines: l'informatique (1), les techniques de gestion (2) mais aussi la théorie économique (3).

(1) Avec l'avènement de l'I.A. ([RIC 83], [WIN 84], [BAR 81], [LAU 87]), l'informatique se propose désormais de résoudre des problèmes non plus seulement par le calcul, mais aussi par le raisonnement: "*Pour résoudre des problèmes avec des machines faisons comme les hommes font !*" [SIM 83]. La pétition implicite de Simon, qui est de "*ne plus faire comme les hommes ne font pas*", vise directement les supports, jusqu'alors traditionnels, des méthodes de résolution informatiques que sont les modèles des mathématiques et de la recherche opérationnelle dont les hypothèses rejettent du champ d'application de l'informatique de nombreux problèmes pourtant quotidiennement résolus par les hommes. Le nouveau paradigme proposé par Simon, cherchant son inspiration dans le comportement humain, propose une conception psychologique de la rationalité: un processus temporel, intelligemment organisé, de recherche d'une solution satisfaisante traduit aussi la mise en oeuvre d'une rationalité, future limitée. Cette approche, en rationalité limitée, donnant naissance aux systèmes experts [WAT 86], [LEN 83], [DEL 87], [DUS 87], [FAR 85], permettra de faire tomber dans le lot commun des problèmes informatibles, ceux sur lesquels la rationalité substantive (1) ne pouvait avoir prise.

(2) Au nombre de ceux-ci les problèmes de gestion nous semblent devoir constituer un terrain d'application privilégié des systèmes experts ([ERN 86, 88],[BEN 86]). Nous semble témoigner de cette possibilité la tradition des S.I.A.D. (Système Interactif d'Aide à la Décision) de gestion. Les S.I.A.D. ([KEE 78]), particulièrement prisés des gestionnaires, sont en effet des systèmes dans lesquels:

- par une conversation entre l'homme et la machine, un effet de synergie est attendu entre les capacités de stockage et de

(1) "*Nous appelons "rationalité substantive" ce mode de décision ou, devrais-je dire, de "résolution" de la décision, dont le contenu est de maximiser une fonction objectif.*" [SIM 86]

- l'amélioration du processus de décision prime sur l'accroissement de sa productivité,
- l'utilisateur participe à l'élaboration du résultat et demeure l'ultime décideur, chargé en dernière instance d'apprécier le rapport au réel du résultat produit et fondant cette appréciation autant sur son expérience et jugement propres que sur l'information produite par le système,

Ce succès des S.I.A.D. de gestion témoigne d'une relative particularité de ce domaine, où l'essentiel des processus de décision (et particulièrement l'interaction entre un S.I.A.D. et son utilisateur) sont de la rationalité limitée en action. **Systèmes Experts, processus de décision du gestionnaire et Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision** traduisent ainsi une profonde identité de problématique, fort prometteuse et qui deviendra féconde à la condition de savoir intégrer l'apport des systèmes experts à l'acquis des S.I.A.D. [LEV 89] C'est dans cette première perspective que s'inscrit le travail qui suit.

(3) L'interaction entre la théorie économique et l'intelligence artificielle est double.

C'est en effet dans la théorie économique qu'il est donné de pouvoir visiter le plus beau monument de la rationalité substantive: la théorie néo-classique du comportement rationnel optimal, initiée au siècle dernier par la théorie de l'équilibre général de Walras (1) et dont la forme achevée sera le modèle, "*olympien*" selon Simon, de Von Neumann-Morgenstern. En effet, comme "théorie de la foule" [DUP 86], l'économie se doit de produire des modèles décrivant les effets macro-économiques des décisions individuelles. Ceci en suppose l'agrégation possible. A cette fin, et à défaut d'autre outil que l'outil mathématique, l'homo oeconomicus de base se dut donc de manifester un comportement rationnel d'optimisation (la rationalité substantive de Simon), qui, par l'avantage qu'il offre d'une possible agrégation des décisions micro-économiques, conduisit à la construction de modèles macro-économiques, dont l'émouvante beauté formelle rachetait largement leur absence totale de prise sur le réel. Mais tel n'est plus

(1) "*Éléments d'économie politique pure.*" [WAL 74]

désormais le cas: la théorie de la rationalité limitée et les modèles informatiques multi-agents (fondés sur les langages d'acteurs notamment [HEW 77], [LIE 81a, 81b, 86], [LIE 87], [AGH 86, 87]) offrent aux économistes de puissants outils de simulation. La voie est ainsi ouverte à de nouvelles perspectives de recherche en matière de modèle macro-économique de simulation [SIM 86].

D'un autre côté, l'I.A. s'ouvre depuis peu à l'I.A.D. (Intelligence Artificielle Distribuée) et à la résolution distribuée de problèmes ([CAM 83], [DUR 89], [FER 88], [FOX 81], [GAS 88], [HUH 87]). Elle se trouve ainsi en situation de créateur d'univers informatiques multi-agents et se voit dès lors confrontée à un problème, dit de cohérence globale, pour la solution duquel les économistes sont devenus orfèvres: comment garantir le comportement globalement cohérent d'un système où ce comportement global est le résultat d'actions décidées localement ? Les ruses de l'histoire ont ainsi voulu que notre travail nous permette de trouver à certaines des problématiques des économistes du siècle dernier, spécialisés dans l'étude des sociétés qui n'existent pas, un objet réel auquel il soit enfin possible de les appliquer, les informaticiens, avec l'I.A.D., étant en situation de donner quelque réalité à ces sociétés fictives. Le modèle qui sera finalement présenté dans ce travail et que concrétise l'application SIMFIDE s'inscrit en effet dans cette problématique multi-agents propre à l'I.A.D. et a ainsi donné prétexte à illustrer cette seconde relation interdisciplinaire (chapitre II: modèles de contrôle en univers multi-agents).

Cette thèse présente le travail d'analyse ayant conduit à la conception d'une architecture logicielle dédiée, de type système multi-experts à base de tableau noir et contrôle hiérarchique, en vue de l'élaboration du prototype de Système Expert SIMFIDE ([BUI 87, 88a, 89a, 89b]) destiné à la **SIM**ulation **F**inancière et au **D**iagnostic d'**E**ntreprise.

Ce prototype a été réalisé dans le cadre du projet européen COMETT "*Formation à l'analyse financière par système expert*".

Le bilan critique des actuels systèmes experts (S.E.) financiers ayant motivé le rejet d'une architecture S.E. "classique" au profit d'une représentation multi-experts, le travail est divisé en trois parties:

- I) Caractéristiques des expertises financières
et caractéristiques des S.E. financiers
 - *Analyse critique des S.E. financiers.*
 - *Choix d'une expertise*
 - *De l'analyse de la connaissance liée à cette expertise à la nécessité d'une représentation multi-experts.*
- II) Etude de l'adéquation des modèles multi-agents
au problème traité
- III) SIMFIDE: système multi-experts à base de tableau noir et
contrôle hiérarchique.

I) La réflexion dans le domaine de l'analyse financière par système expert a conduit à la réalisation d'une première génération de S.E. financiers ([SCH 87], [SEN 87], [VEN 87], [AUC 85], [REC 87], [ROZ 88], [KER 88], [QUA 86], [LEG 88]). Ces S.E. sont marqués à l'empreinte du besoin spécifique des banques qui s'intéressent à la santé de leurs entreprises clientes au travers de celle de leurs créances. Ils partagent donc une même analyse financière (analyse de ratios) qui traduit une approche bancaire (orientée "sanction du passé") du diagnostic d'entreprise. Cette approche, en même temps qu'elle exclut du champ des utilisateurs potentiels les "décideurs" en entreprise visés par le projet SIMFIDE et confère à l'outil résultant des fonctionnalités restreintes (interactivité et qualités "pédagogiques"

faibles), diminue également l'intérêt d'un recours aux techniques de représentation propres à l'I.A.: les points de vue normatif et optimisation sous-jacents semblent en effet pouvoir davantage s'accommoder d'un formalisme plus classique (recherche opérationnelle) que d'un formalisme de type S.E. plus approprié à la représentation d'un comportement en termes de rationalité limitée.

Le choix de l'expertise n'est donc pas neutre.

Aussi les objectifs du projet SIMFIDE imposaient-ils un renouvellement de l'approche du problème du diagnostic financier par S.E., y compris pour ce qui est du choix de l'expertise: ce choix est ici essentiel puisque, déterminant les fonctionnalités de l'outil résultant, il détermine le choix du "public" en même temps qu'il justifie ou invalide le choix des S.E. comme outil de représentation.

Après un bilan critique des actuels S.E. financiers, seront présentés les principes d'une approche financière originale [RAM 79], en termes de simulation du futur et répondant ainsi directement au besoin du responsable ayant à définir une stratégie d'entreprise.

L'analyse de la connaissance liée à cette expertise met en évidence plusieurs caractéristiques (logique de situation et raisonnement opportuniste, points de vue multiples, participation de l'utilisateur au contrôle du processus de recherche) qui nous ont amené à rejeter le formalisme des S.E. classiques au profit d'une représentation distribuée de l'expertise (système multi-experts): chaque agent (ou expert), spécialisé dans un point de vue particulier sur l'entreprise, collabore avec les autres agents du système, ainsi qu'avec l'utilisateur, à l'élaboration d'une solution globale en mettant localement à contribution sa connaissance partielle du problème.

Se pose dès lors un problème de contrôle (ou de cohérence), propre aux systèmes multi-agents, et à l'étude duquel sera consacré le chapitre II:

Comment obtenir du système un comportement global cohérent alors que ce comportement est le résultat de l'agrégation d'actions basées sur une connaissance à la fois locale et incomplète ?

II) Les recherches dans le domaine de l'I.A.D. (Intelligence Artificielle Distribuée) en vue de répondre à cette question ont conduit à l'élaboration de deux modèles ayant permis à la réalisation d'applications significatives: le modèle du **réseau de contrats** ([DAV 78], [DAV 83], [PAR 87], [SMI 80]) et le modèle du **tableau noir** ([BAL 80], [CRA 89], [ENG 88], [ERM 80], [ERM 81], [HAY 77], [HAY 79], [HAY 85], [HAY 86], [HAY 88], [HEW 87], [LES 77], [TER 83], [TER 88]).

Les mérites et limites de ces deux modèles multi-agents seront donc successivement évalués en regard des exigences liées aux particularités de l'expertise à représenter.

1) Le réseau de contrats s'inscrit dans une problématique résolument distribuée et proche de l'univers des langages d'acteurs: actions et connaissances exclusivement locales, absence de représentation d'un point de vue (ou état) global. En l'état, ce modèle n'apporte aucune réponse au problème de comportement global cohérent du système dont la solution impose en effet la nécessaire représentation (en vue de sa prise en compte locale) de l'état courant du système, information par nature globale et donc peu compatible avec les canons du modèle de base. Aussi ce modèle n'est-il applicable qu'à la classe des problèmes décomposables (en sous-problèmes indépendants) à laquelle n'appartient pas le problème (presque décomposable) de la simulation financière d'entreprise.

Nous montrerons que, par un effet récurrent, l'informatique appliquant ses modèles multi-agents à la solution de certains problèmes ouverts posés par les organisations socio-économiques, peut trouver dans la théorie économique des modèles d'organisation (socio-économique) des agents (informatiques) susceptibles d'apporter des éléments de solution à ce problème de cohérence en univers multi-agents. A cet effet, seront exposés, et illustrés par deux applications spécifiques, les principes d'un modèle (modèle B.N.B.) qui, tout en demeurant dans le cadre de la problématique du réseau de contrats, permettent de résoudre le conflit *cohérence globale VS connaissances et actions locales* propre aux univers multi-agents. Nous montrerons en effet que ces principes, en encapsulant localement, au niveau de l'agent, les supports de représentation de la rationalité globale du

système, permettent de distribuer l'information globale. Ils autorisent ainsi la représentation de l'état courant du système en l'absence de représentation explicite d'une structure globale extérieure à l'agent si bien que chaque agent, à la poursuite de son optimum local, contribue partiellement à la réalisation d'un optimum global.

Bien qu'elle nous semble ouvrir une voie possible à l'utilisation des langages d'acteurs en vue de la réalisation de systèmes multi-agents de résolution de problèmes, la solution apportée par le modèle B.N.B., en son état actuel, ne peut s'appliquer qu'aux problèmes pour lesquels l'exigence de cohérence globale trouve à s'exprimer dans les termes d'un nécessaire équilibre général optimal: satisfaction de contraintes globales sur la base d'actions localement décidées. Cette approche demeure donc fort éloignée du problème de la simulation financière d'entreprise qui nécessite en vue de sa solution, non la recherche d'un équilibre théoriquement optimal (car, en l'occurrence, on ne sait quoi optimiser), mais la recherche d'un déséquilibre pratiquement satisfaisant par arbitrage entre des objectifs et des contraintes.

2) Le modèle du tableau noir, à l'opposé du modèle du réseau de contrats, admet le principe d'existence d'une structure de données commune, appelée tableau noir, et susceptible de supporter une représentation de l'état courant du système. Fondé sur l'idée d'une communauté d'agents, dont la mutuelle ignorance constitue l'un des postulats essentiels, ce modèle impose du même coup la double nécessité:

- du tableau noir: de façon à assurer une communication qui ne peut être qu'indirecte (via le tableau noir) entre agents mutuellement ignorants
- du contrôle: comment obtenir en effet des agents du système un comportement coopérant (cohérence globale) alors même qu'ils s'ignorent?

Afin de surmonter ce dernier problème, il faut bien se résoudre à introduire dans le système d'autres agents chargés de contrôler l'activité des premiers. Les principes du modèle de base

rendent cependant leur tâche artificiellement délicate: une information de contrôle est certes à leur disposition, puisque l'information mémorisée au tableau noir, considérée globalement, peut supporter une représentation de l'état courant du système, mais comment pourront-ils rendre cette information opératoire et efficace tant qu'ils seront supposés ignorer tous les autres agents du système et ne pouvoir directement communiquer avec personne ?

La littérature concernant le tableau noir peut ainsi être partiellement relue comme l'histoire d'une succession de tentatives en vue de maintenir la fiction d'une parfaite compatibilité des principes de base du modèle. Il en a résulté:

- dans les modèles où le contrôle est lui-même à base de tableau noir ([HAY 79], [HAY 85], [HAY 88], [HEW 87]) ou centralisé ([ERM 80],[HAY 77]), un contrôle faible et implicite qui est ainsi rendu inapte à la représentation d'une connaissance de type stratégique indispensable à la prise en compte de la logique de situation propre à l'expertise à modéliser.
- dans les architectures à contrôle hiérarchique ([TER 83], [TER 88], [HAT 87, 88a, 88b, 88c], [LAA 89], [CHA 88a], [CHA 88b]), un défaut d'uniformité nuisible à la généralité du modèle.

III) Le modèle utilisé pour l'application SIMFIDE se situe dans la lignée des systèmes de tableau noir à contrôle hiérarchique tout en y introduisant le principe d'accompagner la franchise du contrôle, qui est le propre d'une telle architecture, de la franchise de la communication de l'information de contrôle: communication directe et bilatérale des informations de contrôle entre agents de rangs hiérarchiques contigus.

Coexistent dès lors dans le système deux protocoles de communication: l'un indirect (le partage d'informations) pour les agents d'une même classe, l'autre direct (transmission de messages) entre agents de classes adjacentes. Le modèle de communication est ainsi dédoublé, mais, du même coup, le comportement des agents du système, ainsi que leur structure, s'en trouvent uniformisés.

Nous montrerons que le résultat de l'application de cette architecture à l'expertise initialement choisie possède les qualités requises en vue d'ouvrir de nouvelles perspectives au diagnostic financier d'entreprise par S.E.:

- opportuniste de comportement du système, qualité propre à un système multi-agents où les agents chargés du contrôle sont support de représentation de la connaissance stratégique: cette qualité permet la prise en compte de la notion de logique de situation.
- partage du contrôle du processus de recherche entre l'utilisateur et le système: la consultation se déroule au travers d'une interaction mixte entre l'utilisateur et le système dans laquelle l'un et l'autre coopèrent à la recherche d'un déséquilibre pratiquement satisfaisant. De ce point de vue SIMFIDE renoue donc avec une tradition chère aux gestionnaires (et perdue de vue par les actuels S.E. financiers), celle des SIAD (Système Interactif d'Aide à la Décision).
- qualités pédagogiques: autant en raison de la façon dont il implique la responsabilité de l'utilisateur dans l'élaboration du plan d'actions finalement adopté que du fait de son aptitude à accompagner ce plan de ses justifications, l'application est très ouverte au développement ultérieur d'un outil plus spécifiquement destiné à la formation conformément à l'objectif du projet européen COMETT "Formation à l'analyse financière par système expert".

Le prototype SIMFIDE, dont la présentation fait l'objet du chapitre III, trouve l'ensemble de ses justifications dans les chapitre I (choix de l'expertise et cahier des charges de l'application) et chapitre II (choix de l'architecture logicielle). Bien que ces deux choix, comme le montre le chapitre I, soient dépendants, l'intérêt privilégié du lecteur nous semble cependant pouvoir conduire à deux lectures possibles du travail qui suit:

- une lecture plus orientée sur les aspects gestion: chapitre I et chapitre III.
- une lecture davantage orientée sur la justification des choix plus spécifiquement informatiques: chapitres II et III.

CHAPITRE I

DES

CARACTERISTIQUES DES EXPERTISES FINANCIERES

AUX

CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES EXPERTS

FINANCIERS.

Les objectifs inscrits au cahier des charges de l'application SIMFIDE ont été largement définis par réaction à l'existant dans le domaine des S.E. en diagnostic financier d'entreprise.

Dans une première section, consacrée à un bilan critique de ces actuels S.E. en analyse financière, nous montrerons que ceux-ci partagent une même approche du diagnostic financier qui en fait une approche à l'identique des caractéristiques essentielles. Le choix de l'expertise n'est ici pas neutre. Par son principe même et en raison des fonctionnalités restreintes qu'elle confère au logiciel résultant, l'approche "bancaire" adoptée par ces S.E. exclut notamment du champ des utilisateurs potentiels, les "décideurs" en entreprise pourtant très directement concernés par ce type d'application.

Les principes d'une démarche permettant de renouveler l'approche financière du problème du diagnostic d'entreprise, en l'orientant vers la prise de décision et la simulation, sont présentés dans une seconde section.

L'analyse de cette expertise, dans une troisième section, en met en lumière deux caractéristiques (logique de situation et participation de l'utilisateur au processus de résolution) qui:

- en rendent difficile la représentation dans le cadre du seul formalisme des systèmes experts "classiques"
- appellent une représentation distribuée (système multi-experts) à laquelle se prête l'expertise à modéliser (décomposabilité du problème du diagnostic).

I.1

**SYSTEMES EXPERTS ET ANALYSE FINANCIERE:
BILAN CRITIQUE.**

Les tentatives "pionnières" en vue d'une utilisation des techniques I.A. dans le domaine de l'évaluation d'entreprise et de l'analyse financière ont conduit à quelques réalisations dont les plus connues sont les suivantes:

RISQUE-CLIENT (in [LEV 89])	FINEXPRO [SCH 87]
PREFACE-EXPERT [SEN 88]	CREDIT MANAGER [VEN 87]
AIDE [AUC 85]	SAFIR [REC 87]
EVENT [ROZ 88]	FINEX [KER 88]
SEDRE [QUA 86]	CHARIS [LEG 88]
SYMEDE	CREDEX [PIN 88] (1)

Nous présenterons d'abord très succinctement deux de ces applications, choisies en raison de leur exemplarité (architectures, fonctionnalité, utilisateurs potentiels etc...)(paragraphe I.1.1).

Puis nous proposerons (au paragraphe I.1.2) une caractérisation de ces systèmes experts en analyse financière.

Cette caractérisation nous permettra (au paragraphe I.1.3) de justifier les principes qui ont guidé l'élaboration du cahier des charges de l'application SIMFIDE.

(1) Pour une bibliographie complète voir [BEN 88] et [KLE 88]

I.1.1 DEUX EXEMPLES DE SYSTEMES EXPERTS EN ANALYSE FINANCIERE.

I.1.1.1 ARCHITECTURE DU SYSTEME FINEX.

1) UNE ANALYSE EN TERMES DE RATIOS.

FINEX est un système expert dédié à l'analyse de la situation financière d'entreprise appréciée en termes de rentabilité financière. L'expertise représentée par le système FINEX s'appuie sur une analyse de ratios (1).

En analyse financière on appelle "ratio" un rapport entre deux grandeurs significatives de l'activité de l'entreprise. Ces grandeurs sont tirées des états financiers annuels de l'entreprise: le bilan et le compte d'exploitation. Etant une grandeur relative, un ratio n'a pas de signification par lui-même. Les ratios sont donc utilisés à des fins de comparaison dans l'espace et dans le temps:

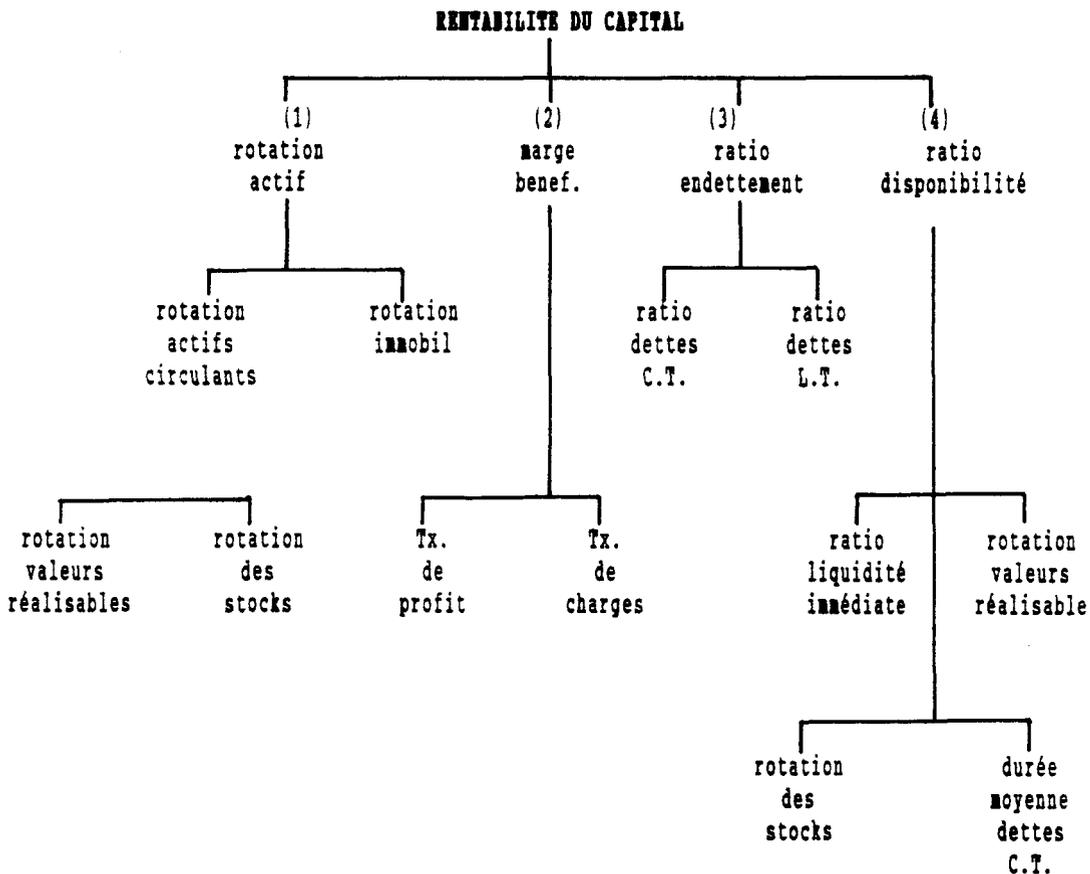
- comparaison de l'entreprise par rapport à son secteur d'activité ou à sa branche.
- comparaison de l'entreprise par rapport à son passé.

Comme beaucoup d'autres systèmes experts de sa catégorie (FINEXPRO, CHARIS, SYMEDE par exemple) FINEX est scindé en deux modules : tableur + S.E.

(1) Pour une présentation de l'analyse de ratios: [COH 87] chap.V "La méthode des ratios et l'analyse statique." et [ALP 83] Chap II "L'analyse a posteriori ou méthodologie de base de l'analyse financière."

- le tableur sert d'interface permettant l'entrée des données du bilan et du compte d'exploitation de l'entreprise et réalise les calculs des ratios.
- le second module de FINEX est un programme PROLOG

La figure suivante présente un exemple de classification pyramidale de ratios utilisée par FINEX.

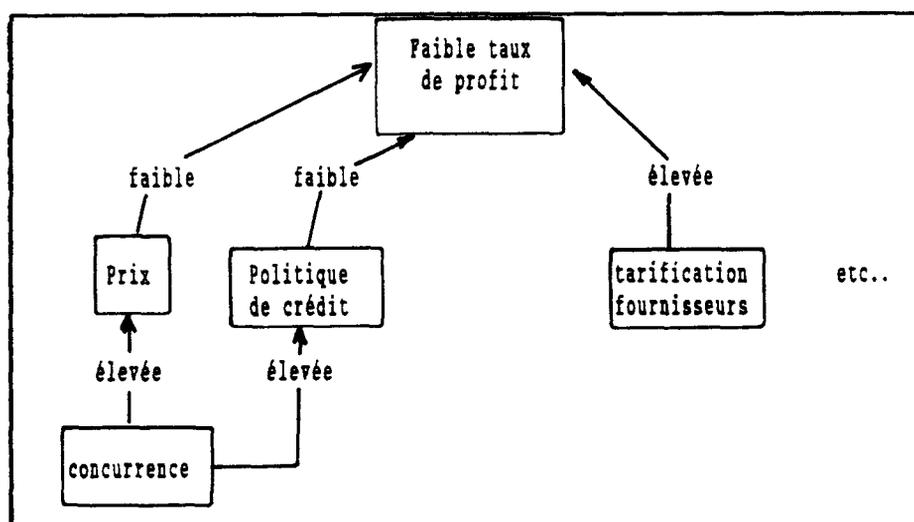


Les relations existant entre ces ratios sont décrites par le modèle de Du Pont de Nemours qui conduit à une décomposition de l'analyse de la rentabilité en quatre thèmes: la gestion des actifs (1), la gestion des profits (2), la gestion de l'endettement (3), la gestion des liquidités.

Ces connaissances (publiques) sont représentées sous forme d'une collection de règles de production exprimant des relations de cause à effet.

FINEX est susceptible de deux modes d'utilisation distincts correspondant à deux niveaux de connaissance sur l'entreprise:

- en mode *interprétation*, il fournit à l'utilisateur du système un rapport d'interprétation des ratios. Dans ce mode, chacun des quatre domaines principaux est exploré séparément.
- en mode *analyse*, une étude en profondeur d'un problème particulier est réalisée. Ce mode dispose de connaissances relatives aux relations logiques pouvant exister entre concepts et ratios décrits par l'ensemble de la classification arborescente précédente. Le schéma ci-dessous décrit, à titre d'exemple, les relations entre un taux de profit, qui est trop faible, et d'autres ratios qui peuvent révéler la cause de cette situation.



La représentation de ces connaissances, qui correspondent à l'expertise à proprement parler, est structurée en réseaux sémantiques.

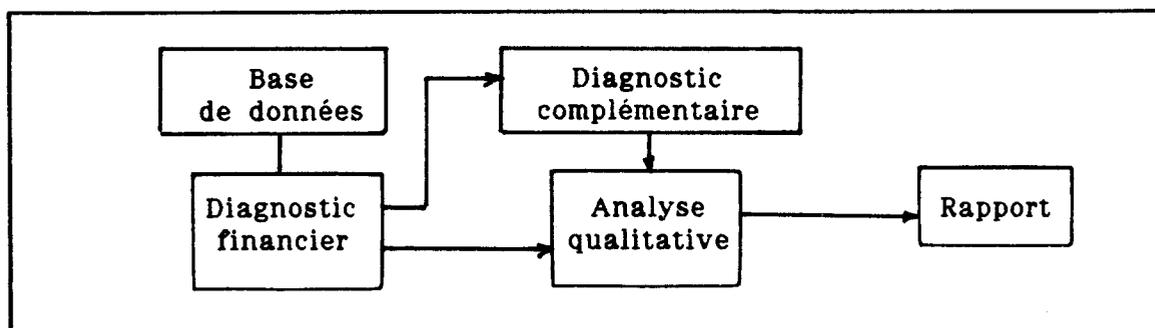
Ce type d'application (comme CHARIS, SYMEDE, FINEXPRO) s'adresse tout particulièrement aux banquiers, aux experts comptables, aux cabinets de conseils et aux sociétés au capital risque. Il apporte à ces professionnels de l'analyse financière l'avantage de gains de productivité:

- saisie conviviale et rapide des données (tableur). S'agissant d'un expert comptable ou d'un banquier, l'ensemble des dossiers clients, sur plusieurs exercices comptables, peut se trouver mémorisé dans un SGBD et seules les mises à jour sont nécessaires.
- rédaction automatique d'un rapport illustré.
- le travail de l'analyste financier sur la partie comptable est allégé, l'application prenant en charge les côtés mécaniques et répétitifs de cette tâche.

- I.1.1.2 ARCHITECTURE DU SYSTEME *RISQUE-CLIENT*.

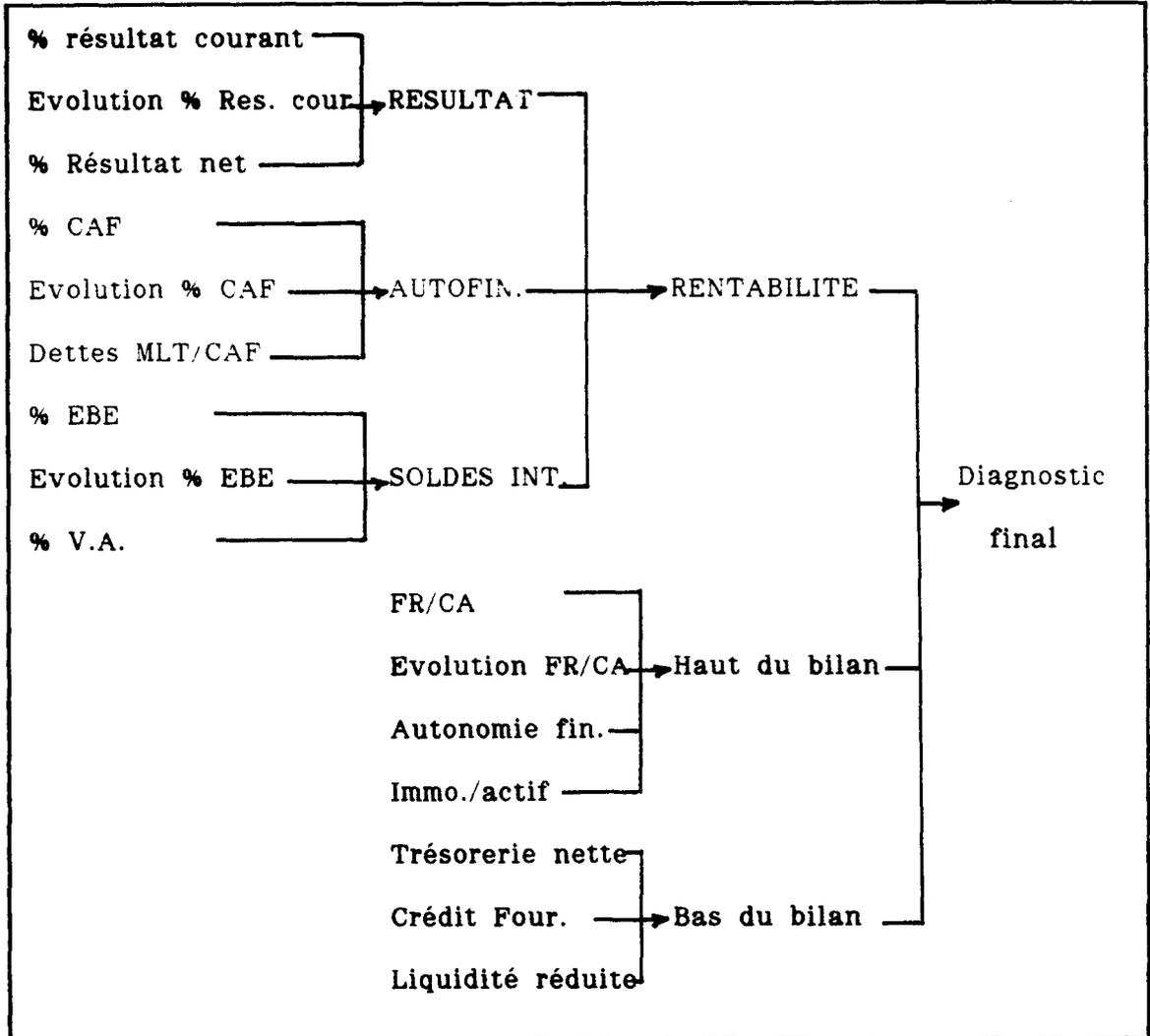
Le système *RISQUE-CLIENT* (comme *CREDIT MANAGER*) est dédié à l'évaluation du risque client. Cette tâche, dans les grandes entreprises, se trouve sous la responsabilité d'un *chef de crédit*. Celui-ci s'attache à constituer un faisceau de présomptions quant au risque de non paiement des clients de l'entreprise (qui sont d'autres entreprises). Il lui appartient donc de décider quel crédit (durée, conditions, montant) l'entreprise peut accorder à ses clients (1).

RISQUE-CLIENT possède trois modules (diagnostic financier, diagnostic complémentaire, et analyse qualitative) organisés suivant le schéma suivant:



(1) Pour une grande entreprise, le compte clients peut couramment concerner plusieurs milliers de clients pour un découvert dépassant un milliard de francs.

Le module de diagnostic financier, qui suppose la saisie des liasses fiscales relatives aux trois exercices précédents, s'intéresse au résultat, à l'autofinancement, à l'excédent brut d'exploitation, à la valeur ajoutée et au bilan suivant la structure arborescente décrite par la figure suivante. Des règles de production transforment les valeurs numériques en appréciations qualitatives par comparaison avec des normes sectorielles.



Les ratios nécessaires à la réalisation de ce diagnostic financier sont les suivants:

Résultat courant / C.A.(n)
Résultat courant / C.A.(n-1)
Résultat Net / C.A.(n)
Capacité d'autofinancement(n)
(Dot. Amort. + Res Net)/ C.A.(n)
(Dot. Amort. + Res Net)/ C.A.(n-1)
Dettes à LMT/Cap. d'autofin.(n)
V.A./C.A.(n)
Evolution V.A./C.A.(n-1)
E.B.E./V.A.(n)
Fonds de roul./C.A.(n)
Fonds de roul./C.A.(n-1)
Autonomie fin.(n)
Immobilisations/actif(n)
Trésorerie nette/C.A.(n)
Crédit fourn./C.A.(n)
Liquidité(n)

Au cas où ce premier diagnostic serait incertain, le second module réalise des analyses complémentaires sur la base des ratios suivants.

Frais financiers / C.A.
Frais financiers / E.B.E.
Frais de personnel / V.A.
Productivité
Rotation des stocks
Evolution du C.A.
E.B.E. / C.A.
Crédits clients / C.A.
Dotation clients douteux / C.A.

Le troisième module réalise une analyse plus qualitative.

Le but du système est de **générer un rapport** à partir des conclusions des modules qui viennent d'être mentionnés.

Le système complet traite 28 ratios financiers (calculés automatiquement) et comporte 2100 règles. Le système est relié à la base de données associée à la gestion des clients, aussi la plupart des faits demandables de la base de règles sont-ils traités par requêtes adressées directement à la base de données, l'utilisateur étant essentiellement chargé des mises à jour.

Ce système permet des gains de productivité non négligeables: l'examen d'un dossier est réalisé en 10 minutes contre une heure en moyenne.

I.1.2 CARACTERISATION DES SYSTEMES EXPERTS EN ANALYSE FINANCIERE.

Les divers systèmes en analyse financière jusqu'à présent réalisés partagent à des degrés divers les deux caractéristiques suivantes:

- Il s'agit de systèmes experts dédiés aux professionnels de l'analyse financière.
- ils ont en commun d'être fondés sur une analyse de ratios.

1) DES S. E. POUR DIAGNOSTIQUER L'ENTREPRISE DE L'AUTRE.

Tous les systèmes experts qui ont été initialement cités visent le public des professionnels de l'analyse financière:

- les conseils financiers réalisant de l'ingéniering financier et intervenant en entreprise à titre de consultant.
- les analystes de crédit de banques ou d'institutions financières qui prennent leur décision d'octroi de crédit en fonction de la santé financière des entreprises qui s'adressent à elles.
- les sociétés de capital risque qui étudient les opérations de prise de participation et de dégagement.
- les analystes boursiers.

- les départements crédits clients des grandes entreprises: tout comme les banques, les grandes entreprises prennent leur décision en matière de crédit (client) en fonction de la solidité financière des entreprises qui s'adressent à elles.

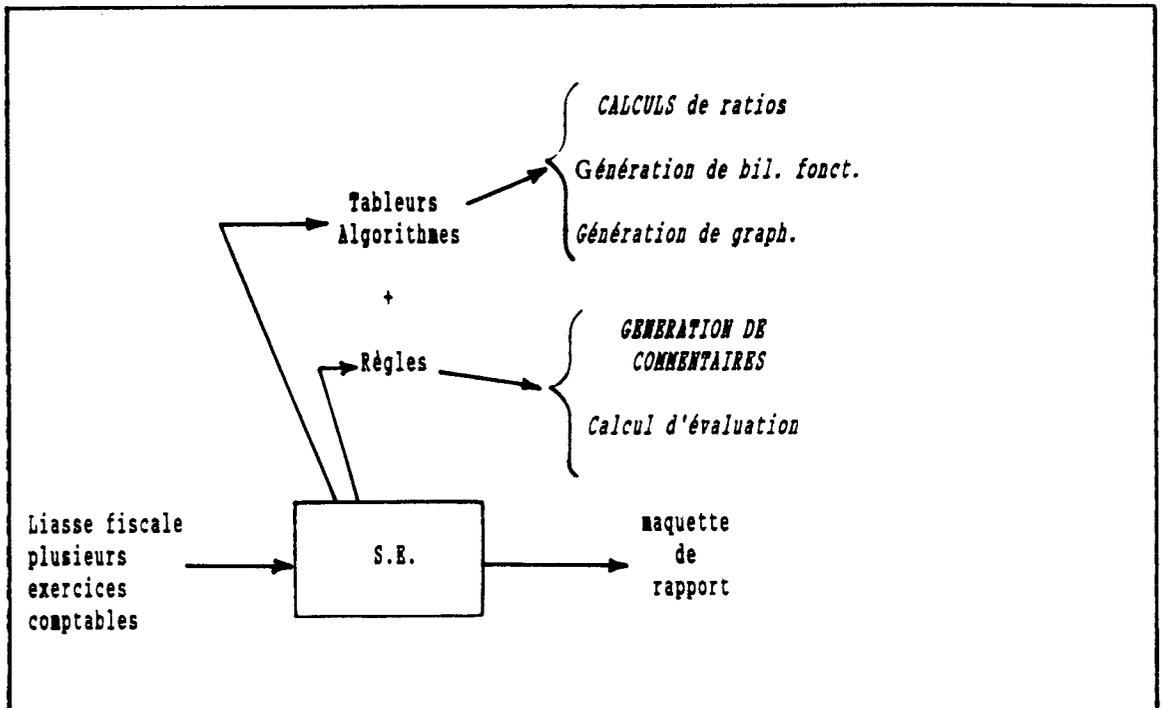
Les destinataires de ces systèmes experts financiers sont donc finalement les experts financiers eux-mêmes.

Rendre reproductible, et donc transmissible l'expertise est l'une des vertus communément prêtée au S.E.. En matière de S.E. financiers, l'effet bénéfique de diffusion du savoir qui peut en être attendu, se trouve cependant limité au cercle restreint des professionnels du domaine.

Dans cette panoplie d'utilisateurs professionnels, les institutions financières représentent la part essentielle. Parmi celles-ci, les banques de dépôts sont les établissements les plus avancés en matière de développement (essentiellement en interne) de systèmes experts financiers: elles y trouvent des sources de gains de productivité susceptibles de leur fournir des avantages concurrentiels. Si l'on en croit les résultats de l'étude réalisée en 1988 par Bensimon [BEN 88] sur les S.E. en milieu financier cette sur-représentation des institutions financières ne semble pas prête à s'atténuer dans un avenir immédiat. En effet, si l'on considère les intentions d'investissement données par les établissements financiers, le marché devrait quadrupler à l'horizon 1990 tandis que les SSII ne citent qu'à la 4^{ème} position "la clientèle finale" des banques comme utilisateurs potentiels des systèmes experts.

Se trouvent donc exclus du cercle fermé des utilisateurs de ces systèmes experts en diagnostic d'entreprise les responsables d'entreprises eux-mêmes.

Remarquons enfin que bon nombre de ces applications (1) ont un schéma fonctionnel identique pour l'essentiel et qui peut être résumé comme suit:



Or ce schéma est un résumé du "fonctionnement" de l'expert financier lui-même ou du moins de ce qui peut en être extérieurement perçu:

Liasse fiscale -----> rapport

La "première génération" de S.E. en analyse et diagnostic financier d'entreprises présente donc le paradoxe d'offrir des applications dont la fonction est implicitement (ou en projet) de remplacer l'expert tout en étant explicitement destinées à l'expert lui-même.

(1) Finexpro, Credit Manager, Event, Aide, Sedre, Synede, Charis notamment.

2) UNE APPROCHE FINANCIERE BASEE SUR UNE ANALYSE DE RATIOS .

Le besoin en diagnostic financier d'entreprise est par nature d'abord concentré dans le secteur bancaire, dont une part importante de l'activité consiste à juger de l'opportunité de l'octroi de crédit, tandis qu'il est diffus, ou du moins distribué sur l'ensemble des PME dont l'activité consiste d'abord à produire des biens et des services.

Il en résulte fort naturellement que les outils informatiques d'analyse financière initialement (c'est à dire prioritairement) développés correspondent d'avantage aux besoins de la prise de décision du banquier qu'aux besoins de la prise de décision du responsable d'entreprise.

a) Une analyse a posteriori en termes de sanction du passé.

Tous les systèmes experts précédemment évoqués sont, comme FINEX et CREDIT-CLIENT, basés sur des méthodes d'analyse de ratios ne permettant qu'une analyse a posteriori de l'activité de la firme.

- Ils constituent donc essentiellement des outils d'étude des **performances passées de l'entreprise** très adaptés au besoin des banques (1) et d'ailleurs très proches dans leur esprit des méthodes de scoring développées par les banques.
- Ils n'offrent pas du tout à l'entrepreneur un instrument de **mesure des enjeux dans le cadre d'une simulation du futur**, alors que c'est bien ce dernier outil qui lui fait actuellement défaut.

(1) L'activité passée de la firme ayant conduit au résultat actuel, celui-ci justifie-t-il l'octroi d'un crédit ?

b) Une analyse normative

en termes de comportement rationnellement optimal.

Dans son principe le recours à la méthode des ratios traduit le souhait de déterminer des *seuils*, des *normes* qui devraient permettre de juger de l'état de l'entreprise grâce à la comparaison entre la valeur de ratios calculés sur ses comptes et des *valeurs de référence*. Ces valeurs de référence peuvent correspondre à celles que les mêmes ratios présentent lorsqu'on les calcule sur des bases statistiques (par exemple pour l'ensemble des entreprises exerçant la même activité (1)) ou encore aux valeurs établies à partir des comptes d'entreprises-témoins (des concurrents par rapport auxquels on tient à se "situer", ou une firme jugée exemplaire), ou enfin à des objectifs que la direction d'une unité souhaite atteindre.

Certaines raisons générales tendent à limiter la portée de ces analyses en termes de ratio: par exemple la conjoncture déplace les seuils correspondant aux valeurs optimales ou aux valeurs critiques des ratios.

D'autres raisons les rendent plus particulièrement inadaptées à l'étude des PME.

"Les moyens de diagnostic à caractère purement financier, en particulier l'audit comptable des cabinets spécialisés ou l'analyse financière pratiquée par les banques sont largement incapables de donner une vue globale de l'entreprise et d'aller donc à la racine des problèmes." [QUE 84] (2)

Les entreprises, considérées non comme des entités comptables abstraites mais situées dans leur environnement économique concret,

(1) La Centrale des Bilans de la Banque de France, créée en 1968, tient à jour les valeurs d'une batterie de ratios, calculées sur les comptes d'un échantillon, défini par l'INSEE, de 25000 entreprises réparties en 84 secteurs, chaque secteur étant à son tour subdivisé en plusieurs familles professionnelles (623 actuellement). Le système expert AIDE élaboré par la Banque de France est fondé sur une analyse de ratios exploitant cette banque de données. cf. [BOU 78] Chap VI *Centrale des bilans, typologie d'entreprise et analyse financière.*

(2) P. Quême, Directeur Général de la Société Française de Diagnostic d'Entreprise. In Revue Banque.

concret, sont en effet placées devant des contraintes (ou des opportunités) techniques, commerciales, financières, économiques hétérogènes qui se traduisent par la disparité de leurs structures patrimoniales et de leurs conditions d'équilibre financier. Ceci est plus particulièrement vérifié pour la PME qui, en raison de la modestie de sa taille, se trouve dans la quasi impossibilité d'agir sur ces contraintes de l'environnement économique: elle ne pourra au mieux que définir une politique lui permettant de s'y adapter.

A l'environnement économique de la firme se trouvent donc associées des contraintes, auxquelles il faut s'adapter, et des opportunités, qu'il lui faut saisir. Ces contraintes et opportunités contribuent ainsi à définir un profil de gestion qui façonne la logique de la situation dans laquelle se trouve engagée l'entreprise d'une façon qui transcende ses caractères de taille ou d'appartenance à un secteur. Les contraintes liées au produit fabriqué (appartenance à un secteur) et aux conditions de sa fabrication (logique de métier) ne suffisent pas à expliquer l'essentiel de la physionomie d'une entreprise (1).

Ainsi, pour une PME, la liaison entre fonds de roulement et activité sectorielle, le caractère normatif des durées d'écoulement des postes stocks, clients et fournisseurs en fonction du secteur d'activité sont des notions largement illusoires tandis qu'elles sont à la base de toute analyse en termes de ratios.

Ces analyses en termes de ratios héritent donc des caractéristiques d'une **théorie financière davantage adaptée au comportement des grandes entreprises auxquelles elle fournit un cadre normatif à un comportement rationnellement optimal**, qu'à la prise de décision au sein des PME dont les problèmes de gestion relèvent d'un processus d'arbitrage et de recherche d'un équilibre satisfaisant entre des objectifs et des contraintes.

En d'autres termes (et pour paraphraser Simon), la méthode des ratios relève d'une problématique de la *"rationalité substantive"*

(1) On lira notamment sur ce thème: "Structures des bilans et types de croissance des entreprises." [HUR 73], "Facteurs de succès et d'échecs dans les PME." [LOI 81], "Les défaillances: un essai d'explication." [NAL 81]

adaptée au cas des grandes entreprises qui, en raison précisément de cette taille importante, peuvent organiser leur procédure de décision en terme d'optimisation. Cette même méthode est en revanche inadaptée au cas des PME qui mettent en oeuvre une "*rationalité limitée*" se résumant à la recherche de décisions seulement satisfaisantes pour un environnement donné.

**I.1.3. CARACTERISATION DES S.E.
EN ANALYSE FINANCIERE:
CONCLUSION**

La caractérisation des réalisations actuelles en matière de systèmes experts dédiés à l'analyse financière peut être résumée par le tableau suivant:

	TECHNIQUE I.A.	ANALYSE FINANCIERE
APPROCHE	résoudre le problème	Etude des performances passées de l'entreprise
MOYEN	S.E.= substitut à l'expert humain	Méthode des ratios
PROBLEME	Système réservé à l'usage de l'expert	Non prise en compte des besoins liés à la prise de décision en PME

Utilisation des techniques I.A.

Sur le plan des modalités de mise en oeuvre des techniques I.A., l'approche utilisée est celle de la "prothèse" cognitive dans le cadre de laquelle l'outil système expert est conçu (sinon imaginé) comme authentique substitut possible à l'expert humain, et dont la fonction serait une totale prise en charge de la résolution du problème. La réalité des outils aujourd'hui disponibles ne justifiant pas une telle vision, l'outil, une fois réalisé, se révèle en définitive ne

pas avoir toutes les qualités du modèle qu'il prétend remplacer, et n'est finalement qu'un S.E. réservé à l'usage de l'expert.

Type d'analyse financière.

Sur le plan de l'analyse financière, l'approche utilisée peut être qualifiée de **bancaire**: elle met en oeuvre la méthode des ratios dans le but de réaliser une étude des **performances passées** de l'entreprise et ne permet pas de prendre en compte les besoins liés à la prise de décision en P.M.E.

Ce rapide bilan critique suffit à définir "en creux" les objectifs inscrits au cahier des charges de l'application SIMFIDE.

	TECHNIQUE I.A.	ANALYSE FINANCIERE
APPROCHE	Outil coopératif	Prise de décision au sein de la PME
FONCTION	Apprendre à l'utilisateur à résoudre lui-même son problème	Quelle stratégie mettre en oeuvre pour l'avenir
MOYEN	S.E. = outil explicatif	Analyse en termes de simulation du futur
APPORT	Outil de formation à l'analyse financière	

De ces objectifs découle une double nécessité:

NECESSITE D ' UNE NOUVELLE APPROCHE FINANCIERE .

L'approche financière utilisée doit être renouvelée de façon à s'exprimer en termes de **simulation du futur** permettant ainsi d'éclairer les problèmes de prise de décision au sein de la P.M.E.: **quelle stratégie mettre en oeuvre pour l'avenir ?**

NECESSITE D ' ELABORER UN S - I - A - D - INTELLIGENT .

Sur le plan des modalités de mise en oeuvre des techniques I.A.: le souci de conforter l'acquis des SIAD (1) doit conduire à l'élaboration d'une architecture logicielle dédiée permettant la création d'un **outil coopératif** où le S.E. est conçu aussi comme un **outil explicatif** dont la fonction est d'apprendre à l'utilisateur à résoudre lui-même son problème.

(1) **Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision**

I . 2
UNE APPROCHE FINANCIERE EN TERMES
DE
SIMULATION DU FUTUR .

La précédente section, consacrée à un bilan critique des actuels systèmes experts en analyse financière, a montré que ces applications, faute de s'être préalablement interrogées sur les spécificités des théories financières sous-jacentes aux expertises qu'elles tentent de modéliser, sont inaptes à répondre aux besoins, cependant très réels, des responsables en PME. Ces théories bénéficient d'une large diffusion parce qu'elles correspondent à une vision de la "chose financière" propre aux banques et aux grandes entreprises. En retour elles présentent une double caractéristique qui fait obstacle à leur utilisation dans le cadre d'une activité de conseil en PME:

- elles traduisent une approche que nous avons qualifiée de bancaire parce que focalisée sur le souci d'une sanction du passé de l'entreprise.
- elles héritent des caractéristiques d'une théorie (néo-classique) au mieux adaptée au comportement des grandes entreprises auxquelles elle fournit un cadre normatif à un comportement rationnellement optimal, mais de toute façon inadapté à la pratique du décideur en PME.

L'usage des systèmes experts fondés sur cette approche se voit ainsi réservé aux professionnels de l'expertise financière. Il s'agit toujours de systèmes experts pour experts ou de système expert à diagnostiquer l'entreprise de l'autre.

Aussi sont-ils utilisés:

- dans les banques ou les services crédit-clients des grandes entreprises en raison de leur orientation sanction du passé.
- dans les sociétés capital risque, qui étudient les opérations de prise de participation, ou par les analystes boursiers en raison de leur orientation grandes entreprises.

Le besoin en expertise financière des responsables en PME, s'il est disséminé (alors qu'il est concentré sur les banques et les grandes entreprises), et par là, moins à même de s'exprimer, n'en est pas pour autant moins intense: mais il correspond à de tout autres besoins.

Le choix de l'expertise n'est donc pas neutre.

Souscrire aux objectifs fixés supposait de renouveler l'approche financière utilisée.

Pour ce faire nous nous sommes appuyés sur les travaux de J.P.Raman [RAM 79] qui, outre l'avantage qu'ils offrent de correspondre à une démarche distincte de l'analyse financière traditionnelle car dédiée au comportement financier des PME, présentent également l'intérêt de correspondre à une longue et réelle expérience de conseil en PME.

L'analyse de la connaissance liée à cette expertise fera l'objet de la section suivante (I.3).

La présente section (I.2) sera donc consacrée à la présentation des éléments clefs de la démarche que nous avons choisie de modéliser (1).

(1) Nous sommes donc entièrement redevable aux travaux de J.P. Raman pour ce qui est du contenu de cette synthèse, tout en demeurant seul responsable des erreurs d'interprétation qui pourraient y figurer.

Cet exposé, aussi résumé que possible (1), des principaux éléments de l'expertise, est motivé par les raisons suivantes:

- La plupart des notions qui y seront présentées (niveaux d'activité potentiels, contraintes ...) se trouveront finalement être modélisées, dans l'application SIMFIDE, sous forme d'agents informatiques. Ces notions sont donc utiles à la compréhension de la structuration du prototype dont la présentation fait l'objet du chapitre III.
- L'étude des particularités de cette expertise fera l'objet de la section I.3 (analyse de la connaissance). On montrera notamment que ces caractéristiques:
 - . justifient le recours aux techniques de représentation propres à l'I.A.: cette démarche traduit en effet, au travers d'un dialogue entre l'expert et le responsable, un processus de recherche d'un déséquilibre pratiquant satisfaisant qui correspond étroitement au type de comportement (de rationalité limitée) que l'approche S.E. a pour objet de simuler.
 - . expliquent les choix architecturaux retenus pour la réalisation du prototype SIMFIDE (architecture multi-expert) et justifient les exposés du chapitre II relatifs aux modèles de contrôle en univers multi-agents.

(1) Afin de faciliter une lecture moins orientée sur les aspects économiques et de gestion, figurent, en en-tête de certains paragraphes (sous forme d'encadrés), des exposés plus synthétiques des principes de la démarche. La lecture de ces résumés peut être suffisante pour la compréhension de la suite de ce travail.

**I . 2 . 1 . CARACTERISTIQUES DE LA PME ET REJET DU MODELE NEO—
CLASSIQUE DE COMPORTEMENT RATIONNEL OPTIMAL .**

RESUME:

L'analyse des caractéristiques de la PME amène à rejeter à un double point de vue le **modèle marginaliste de comportement rationnel optimal de la firme au profit d'un modèle de comportement en termes de rationalité limitée:**

1) L'absence de marché des parts sociales implique:

- le rejet de l'objectif de maximisation de la valeur de la firme
- au profit d'un objectif de **taux moyen minimum de rentabilité sous contrainte d'un seuil limite d'endettement.**

2) La quasi-impossibilité dans laquelle se trouve la PME d'agir sur les contraintes de son environnement du fait de sa taille implique:

- le rejet d'un modèle de gestion rationnellement optimal appréciable en fonction de normes a priori
- au profit d'un modèle de gestion conçu comme un processus d'arbitrage et de recherche d'un équilibre entre des objectifs et des contraintes.

Un exposé plus détaillé de ces deux points fait l'objet des deux paragraphes qui suivent.

1) RATIONALITE LIMITEE ET OBJECTIF DE LA FIRME .

a) Objectif de rentabilité: de l'objectif de maximisation à l'objectif à l'objectif de taux minimum satisfaisant.

La première cause du rejet de la conception marginaliste du comportement rationnel de la firme en termes de maximisation est l'absence d'un marché des parts sociales:

Le modèle marginaliste suppose que les actionnaires soient en mesure d'arbitrer rationnellement entre les actifs jusqu'à égalisation des taux marginaux de rendement. Ce processus d'arbitrage est évidemment impossible en ce qui concerne les parts sociales de firmes non cotées. Cette absence de marché se traduit de plus par une absence d'information quant à la valeur de la firme sur le marché: l'objectif de valeur n'est pas un objectif quantifiable pour la PME puisqu'il n'existe pas de cours de la part sociale.

Une seconde raison de ce rejet tient aux attaches qui lient les associés à la firme:

L'associé dans la PME est fréquemment prêteur (compte d'associés), garant (engagement par signature), et salarié (responsabilité de cadre). En outre la PME a souvent un caractère familial qui vient s'ajouter aux relations purement économiques. Pour ces raisons, la maximisation de la valeur des fonds propres ne peut alors être représentative des objectifs des associés.

"La maximisation de la valeur des fonds propres et l'approche marginaliste impliquent une certaine forme de "sauvagerie rationnelle" des actionnaires envers la firme. En effet, ceux-ci n'hésitent pas à arbitrer à la vente, c'est à dire contre la firme, même pour des variations marginales. Nous ne voulons pas indiquer qu'à l'inverse tous les associés de PME se ruineraient par "amour" de leur firme. Cependant, la

Cependant, la situation sauvage que suppose la maximisation ne nous paraît convenir à aucun des chefs d'entreprise que nous fréquentons depuis des années."

[RAM 79]

L'objectif traditionnel de maximisation de la valeur ne pouvant expliquer le comportement des associés de PME., quel est l'objectif de la firme ?

Le comportement des agents ayant des responsabilités économiques (chefs d'entreprise) traduit davantage le souci de préserver le patrimoine contre l'érosion monétaire et de participer à la croissance globale de la richesse que de risquer une maximisation dont les hypothèses et les modalités ne correspondent pas à la réalité de leur situation.

En résumé: En matière d'objectif de rentabilité de la firme, le comportement des associés de PME n'est pas un comportement maximaliste mais un comportement marqué par le souci d'obtention d'un rendement satisfaisant des fonds propres préservant la richesse relative.

b) Intégration du risque sous forme de contrainte à cet objectif de rentabilité satisfaisante.

La prise en compte des caractéristiques propres aux PME aboutit à un mode particulier d'intégration du risque comme facteur influençant le comportement des associés d'une petite firme.

Dans le modèle néo-classique, un accroissement du risque de volatilité des revenus attendus d'un titre se traduit par une baisse du cours sur le marché: les porteurs vendront jusqu'à ce que le taux de rendement intègre la prime due au risque supplémentaire.

Dans le cas des PME, l'absence de marché efficient interdit ces arbitrages. La valorisation ou la dévalorisation au jour le jour d'un titre ne peut préoccuper que le porteur "actionnaire-détaché" toujours prêt à acheter ou à vendre. L'associé de PME est au contraire un "actionnaire-attaché", beaucoup moins sensible à l'évolution au jour

le jour de la valeur de la part, pour la bonne raison qu'il n'y a pas d'indicateurs objectifs de cette valeur, et qu'il n'est en mesure ni de vendre ni d'acheter cette valeur. Son attitude face au risque est différente de celle que suppose le modèle néo-classique. Le maintien du même revenu monétaire au moyen d'un accroissement marginal du risque ne se traduit par aucune variation d'un indicateur objectif de valeur. L'accroissement du niveau de risque peut donc ne pas être ressenti par les associés tant qu'il n'atteint pas un seuil d'alerte. Ce signal qui alerte les associés sur la dépréciation des fonds propres n'est donc pas un marché des parts sociales puisqu'il n'existe pas, mais bien le marché des dettes institutionnelles dès lors que le coût de ces dettes atteint un niveau tel qu'il n'est plus possible d'emprunter sans garanties personnelles des associés.

Les associés de la PME ne procèdent pas à une analyse marginaliste du risque, ne recherchant pas une optimisation du couple risque-rentabilité: leur souci majeur est le taux moyen de rentabilité satisfaisant l'objectif de richesse pour un niveau de risque n'excédant pas certains seuils. La préoccupation est donc un certain niveau de rentabilité et le souci d'éviter la faillite.

L'OBJECTIF D'UN NIVEAU SATISFAISANT DE RENTABILITE DOIT ETRE DEFINI SOUS CONTRAINTE D'UN NIVEAU DE RISQUE A NE PAS DEPASSER.

En conclusion: la rentabilité et le risque apparaissent donc sous la forme de contraintes: contrainte d'un taux moyen minimum de rentabilité et contrainte d'un seuil d'endettement.

2) RATIONALITE LIMITEE ET GESTION SOUS CONTRAINTES .

RESUME:

La PME est fondamentalement caractérisée par la quasi-impossibilité où elle se trouve d'agir sur les contraintes de l'environnement économique et social du fait de sa taille. A l'inverse cette taille lui octroie une certaine souplesse d'adaptation à l'environnement (1).

Deux contraintes viennent d'être définies:

- Contrainte d'un taux moyen minimum de rentabilité afin d'éviter un appauvrissement relatif.
- Contrainte de risque sous forme d'un seuil d'endettement à ne pas dépasser.

La satisfaction de ces deux contraintes financières passe par trois autres contraintes fortes:

- la contrainte de personnel.
- la contrainte de marge.
- la contrainte de rotation d'actif.

La définition de ces contraintes fait l'objet des trois paragraphes qui suivent.

a) La contrainte de personnel.

Elle se traduit par une bonne corrélation de l'évolution des frais de personnel par rapport au temps. Cette constatation traduit le fait que ces frais sont devenus une quasi-charge fixe pour l'entreprise et que leur évolution suit une logique propre, d'où une dépendance plus grande de ces frais par rapport au temps que par rapport au niveau d'activité.

(1) "Il faut avoir la taille de la CGB ou de Thomson ou d'ITT pour négocier avec les PTT. S'ils viennent à nous concurrencer et si nous nous obstinons, ils nous écraseront. Notre atout, c'est la lenteur des grands empires industriels." Interview de P. Safa, L'Expansion, juin 1978. D'après [RAN 79] p. 474.

Fondamentalement le problème n'est plus de disposer de l'effectif nécessaire compte tenu de l'activité mais de disposer du niveau d'activité nécessaire compte tenu de l'effectif (1).

b) Contrainte de marge.

La contrainte de taux de marge signifie que, quelle que soit l'adaptabilité d'une firme, il n'est guère possible dans la majorité des cas de procéder à des modifications profondes et instantanées de la structure des coûts et des marchés (2).

La contrainte sur les coûts et leur évolution, dont les frais de personnel, se traduit par la contrainte d'une marge brute qui couvre ces frais. Dès lors tout est fait pour atteindre un niveau d'activité qui fournisse cette marge et l'entreprise accorde une grande attention à ce que celle-ci soit maintenue. Par ailleurs la pression de la concurrence interdit les velléités de hausses importantes du taux de marge tandis qu'à l'inverse la structure des coûts interdit que cette concurrence n'aboutisse à un laminage de celui-ci. Dès lors le maintien du taux de marge apparaît comme une contrainte forte tandis que son amélioration est limitée par la concurrence.

c) Contrainte de rotation d'actif.

La constatation d'une corrélation forte entre le niveau d'activité et le niveau d'actif global amène à conclure à l'existence d'une contrainte définissant un certain niveau d'actif nécessaire pour un chiffre d'affaires donné (3).

(1) Ceci est dû au fait que les hausses de rémunération dépendent essentiellement d'éléments extérieurs à la firme: hausse du SMIC, conventions collectives etc... déterminés par des facteurs macro-économiques.

(2) Cet état de fait se traduit en particulier par un coefficient de corrélation élevé entre achats et ventes.

(3) La relation mise en évidence entre ventes et actifs est analogue au rapport production/capital qui mesure l'intensité capitaliste en macro-économie.

II . 2 . 2 CONTRAINTES ET RISQUES D ' INCOMPATIBILITE ENTRE LES EQUILIBRES PARTIELS NECESSAIRES .

RESUME:

Les contraintes qui viennent d'être définies peuvent être regroupées en trois ensembles qui conduisent à la détermination de trois niveaux d'activité potentiels:

- Un niveau d'activité nécessaire (CAN) à la couverture des charges et à l'obtention du résultat qui dépendra de la structure des charges , de l'objectif de rentabilité et du taux de marge.
- Un niveau d'activité autorisé par la structure financière (CAA) qui sera fonction de la rotation d'actif, du niveau des fonds propres et du niveau d'indépendance financière.
- Un niveau d'activité correspondant à la demande (CAD) s'adressant à l'entreprise et dépendant des paramètres définissant son marché.

Ces trois niveaux d'activité qui résultent des différentes contraintes n'ont aucune raison d'être compatibles parce qu'ils sont déterminés de façon relativement indépendante: la PME se trouve donc systématiquement en situation de déséquilibre. La gestion de la firme a alors pour principal objet, la recherche d'un niveau d'activité compatible avec les contraintes exprimées et une action sur ces contraintes dans le cas où elles se traduiraient par des niveaux d'activité trop éloignés les uns des autres.

Le principe du modèle amène donc à RENONCER A LA RECHERCHE D'UN HYPOTHETIQUE EQUILIBRE THEORIQUEMENT OPTIMAL (MODELE NEO-CLASSIQUE DE COMPORTEMENT RATIONNEL) AU PROFIT DE LA GESTION D'UN DESEQUILIBRE PRATIQUEMENT SATISFAISANT (RATIONALITE LIMITEE).

Les deux paragraphes qui suivent ont pour objet d'exposer les modes de détermination des chiffres d'affaires autorisés et nécessaires.

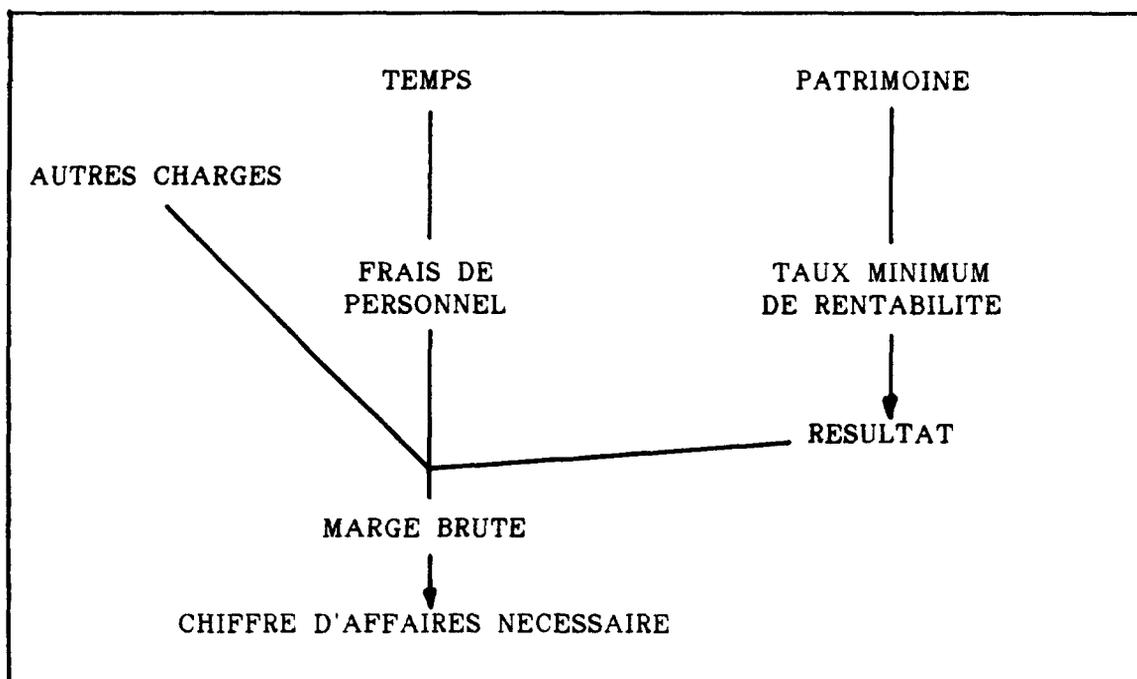
1) CONTRAINTES D'EXPLOITATION, OBJECTIF DE RESULTAT ET DE CHIFFRE D'AFFAIRES NECESSAIRE.

La détermination d'un objectif de richesse et le montant des fonds propres de début d'exercice permettent de déterminer un objectif de résultat pour la firme.

Existent par ailleurs deux autres contraintes:

- la relation frais de personnel par rapport au temps.
- la relation marge brute par rapport au chiffre d'affaires.

La prise en compte de ces contraintes conduit à l'élaboration du schéma suivant:



L'analyse est alors semblable à celle de la détermination d'un point mort. Les contraintes de charge et de résultat aboutissent à

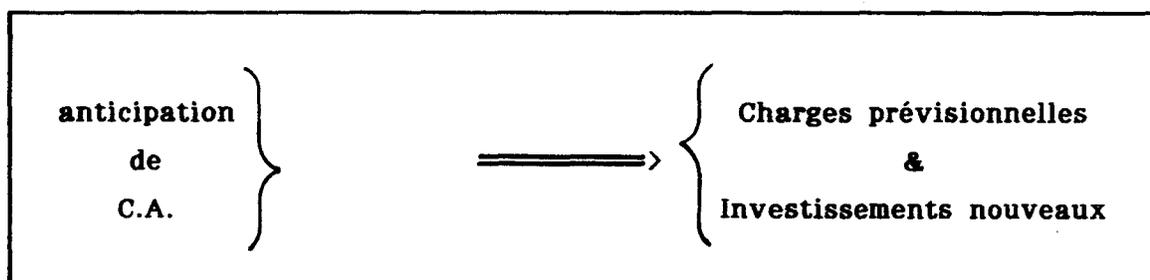
la définition d'un niveau de chiffre d'affaires à atteindre par l'intermédiaire d'une marge brute nécessaire.

Remarque:

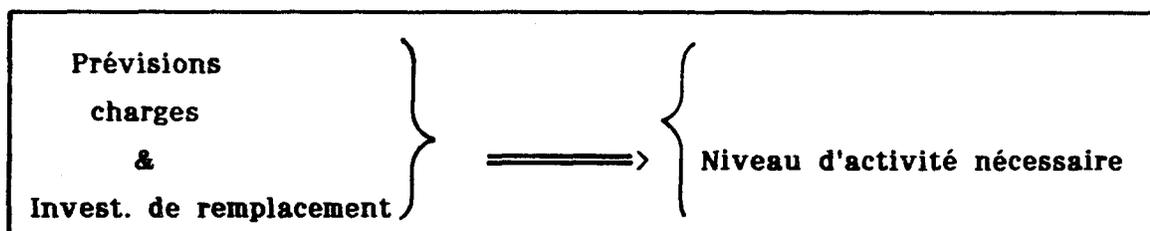
L'approche des problèmes n'est plus une réflexion à partir d'un chiffre d'affaires prévu mais la recherche du chiffre d'affaires nécessaire: ce niveau nécessaire des ventes correspond à la couverture des coûts de l'entreprise et à l'obtention d'un niveau de résultat considéré comme satisfaisant.

Il en résulte une inversion complète des schémas traditionnellement rencontrés en analyse financière:

Le schéma classique:



devient:



(1) Prévisions de charge / prévisions de C.A.

Les techniques de prévision et de planification, adaptées au cas des grandes entreprises proposent une démarche à partir du chiffre d'affaires. L'élaboration du compte d'exploitation prévisionnel précède la comparaison aux contraintes externes et internes. Une telle démarche nécessite la possibilité de faire des prévisions de chiffre d'affaires. Or une constante assez générale des PME est l'incapacité de prévoir les ventes futures et l'affirmation que toute tentative en ce

sens est vouée à l'échec. A l'inverse, il apparaît que les firmes s'estiment en mesure d'effectuer des prévisions fiables d'évolution de leurs charges.

(2) L'investissement.

La théorie financière traditionnelle est fortement focalisée sur le thème des nouveaux investissements. Dans le cadre de la problématique marginaliste d'optimisation, la question est de savoir si les revenus des investissements nouveaux seront tels que ces investissements seront rentables par rapport à un coût marginal des fonds. L'optique PME est que celles-ci cherchent d'abord à rentabiliser l'existant en obtenant un niveau d'activité adéquat. Ce niveau d'activité correspondant aux contraintes d'exploitation et de résultat nécessitera éventuellement des investissements de remplacement qui apparaîtront comme une nécessité au regard des contraintes précédentes. Dès lors l'investissement ne semble plus résulter d'un processus rationnel d'optimisation de la valeur en fonction d'anticipations de chiffre d'affaires mais d'un processus d'obtention d'un taux minimum de rentabilité qui suppose un certain niveau d'activité, ce dernier induisant à son tour, compte tenu de l'état des capacités de production et de commercialisation, de nécessaires investissements de remplacement ou d'extension.

"Nous n'avons jamais rencontré de PME ayant investi parce que le taux de rendement interne du projet était supérieur au coût du capital. Nous avons toujours eu affaire à des PME ayant investi parce que c'était nécessaire. Cette nécessité étant, pour une grande partie du programme d'investissement, le remplacement de matériel usé ou obsolète, pour une autre, l'extension de capacité nécessaire à tenir l'objectif de niveau d'activité indispensable." [RAM 79]

2) RENTABILITE ET CHIFFRE D'AFFAIRES AUTORISE .

Si l'obtention d'un certain niveau de résultat se traduit par un chiffre d'affaires objectif, un résultat se traduit aussi par un chiffre d'affaires possible.

En notant:

AF, l'actif total

CP, les capitaux propres

$R = C.A. / AF$, la rotation d'actif

$ID = CP / AF$

On a:

$$(1) \quad CA = R \cdot (1/ID) \cdot CP$$

$$CA_{(t+1)} = \frac{CA_{(t+1)}}{AF_{(t+1)}} \cdot \frac{AF_{(t+1)}}{CP_{(t+1)}} \cdot CP_{(t+1)}$$

ROTATION D'ACTIF
ANTICIPEE

OBJECTIF
D'INDEPENDANCE
FINANCIERE

Avec:

$$CP_{(t+1)} = CP_{(t)} \cdot (1+r) - DIV + d CP$$

où:

r = rentabilité financière du capital investi.

DIV = dividendes distribués

$d CP$ = apports de capitaux propres.

(1) signifie que: le taux de croissance autorisé du chiffre est fonction de la rotation d'actif, de l'indépendance financière et du bénéfice réservé.

A rotation d'actif constante, une firme ne peut pas croître plus vite en chiffre d'affaires qu'en fonds propres sans réduire son indépendance financière.

L'examen des contraintes des PME révèle que la rotation d'actif constitue une contrainte forte: dès lors rien ne permet d'affirmer que le C.A. nécessaire pour un résultat et le C.A. autorisé par ce résultat soient identiques.

Dans l'éventualité d'un écart entre les deux niveaux d'activité, l'indépendance financière est alors amenée à pratiquer l'ajustement en s'améliorant ou en se détériorant. Le schéma suivant retrace les cheminements dans l'hypothèse d'absence de paiement de dividendes ou d'apport de fonds propres. Le bénéfice est donc intégralement réservé.

C'est ainsi que les contraintes d'exploitation assorties d'un objectif de rentabilité des fonds propres de 16% peut se traduire par un accroissement nécessaire du C.A. de 25% tandis qu'à indépendance financière constante le CA autorisé est au mieux de 16%.

Inversement le chiffre d'affaires autorisé peut croître à un taux supérieur au chiffre nécessaire. Le problème n'est pas brûlant dans ce deuxième cas.

La contrainte du risque financier peut être considérée comme une contrainte plus faible que les autres dans un premier temps. En effet, lorsque la firme n'est pas trop endettée, la ligne de plus faible résistance est le banquier. Comparée à la difficulté de décision et d'application d'une réduction d'effectif, comparée à la difficulté d'imposer un déstockage ou un effort commercial, la négociation bancaire est dans un premier temps la plus facile. La tentation est grande de reporter sur l'extérieur les contraintes fortes internes.

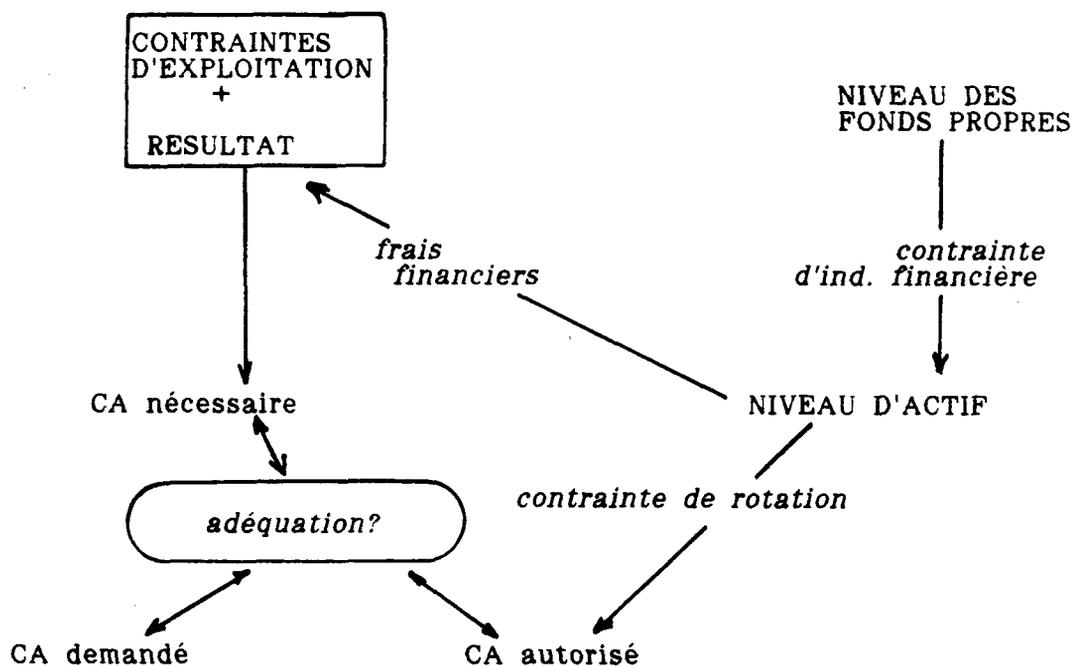
3) CONTRAINTE DE MARCHE .

EQUILIBRES PARTIELS ET EQUILIBRE GENERAL .

Les deux paragraphes précédents ont défini les notions de chiffre d'affaires nécessaire et de chiffre d'affaires autorisé. Rien ne permet de croire que le marché se situera à un niveau compatible avec les objectifs de ventes issus des contraintes précédentes.

On aboutit finalement au schéma général suivant:

EQUILIBRES PARTIELS ET EQUILIBRE GENERAL.



RESUME:

EX-ANTE, aucun mécanisme ne permet donc d'affirmer que les trois chiffres d'affaires s'établiront à un niveau identique: au contraire la même structure financière est susceptible d'autoriser un C.A. différent de celui qu'elle nécessite.

EX-POST, un seul chiffre d'affaires aura été effectivement réalisé.

Entre temps, il aura fallu que cèdent ou s'assouplissent certaines contraintes: si l'action de la firme n'a pas permis d'aboutir à un équilibre général (identité des trois C.A.), ce sont les contraintes les plus faibles qui auront plié. Parmi celles-ci, nous citerons en premier lieu l'indépendance financière et le résultat.

Il en résulte un modèle économique de la politique de PME en termes de gestion d'un déséquilibre pratiquement satisfaisant fort éloigné du modèle traditionnel de recherche d'un équilibre théoriquement optimal.

Cette analyse débouche sur une typologie des déséquilibres possibles

4) TYPOLOGIE DES DESEQUILIBRES ET PRATIQUE DE L' EXPERTISE .

Les diverses contraintes qui pèsent sur la firme ont aboutit à la définition de trois chiffres d'affaires:

- le chiffre d'affaires nécessaire: CAN
- le chiffre d'affaires autorisé: CAA
- le chiffre d'affaires demandé: CAD.

Si ex-post, un seul chiffre d'affaires sera réalisé, rien ne permet de penser qu'il correspondra à un niveau satisfaisant au vue des trois faisceaux de contraintes. Ex-ante, six types de déséquilibres sont possibles. Pour chacune des situations correspondantes, la firme doit agir pour réduire les contradictions éventuelles entre les

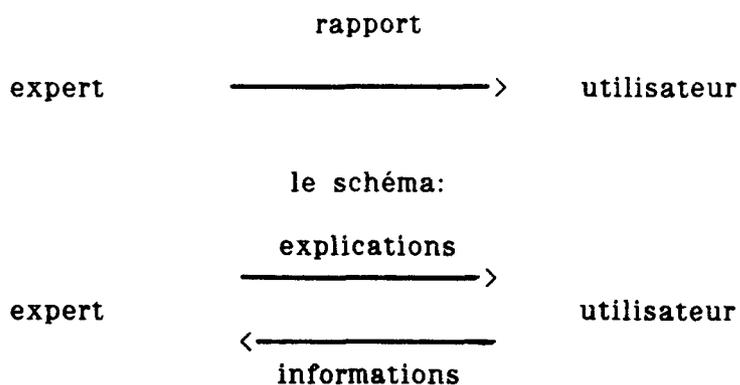
contraintes. Si elle ne le peut, il faut alors définir une priorité entre les contraintes, savoir quelles seront les contraintes "dures" et celles qui ne seront pas satisfaites.

RESUME:

L'expertise s'organise donc au travers d'un dialogue:

- (a) **aider le responsable à qualifier les contraintes auxquelles se trouve soumise son entreprise ses objectifs et anticipations.**
- (b) **faire jouer ces contraintes dans le cadre d'une simulation de façon à situer l'entreprise dans une typologie des déséquilibres possibles.**
- (c) **compte-tenu de cette situation, de l'analyse et des explications fournies par l'expert, guider l'entrepreneur dans le choix d'une stratégie cohérente en termes d'objectifs et d'actions sur les contraintes (retour en (a)).**

Ceci suppose de substituer au schéma traditionnel modélisé par les actuels systèmes experts en analyse financière:



I. 3 .

ANALYSE DE LA CONNAISSANCE .

L'expertise dont le principe a été résumé dans la précédente section nous semble présenter plusieurs aspects caractéristiques qui méritent qu'on leur prête attention pour les raisons suivantes:

- a) ces particularités (logique de situation, inclusion de l'utilisateur dans l'espace de recherche exploré par le S.E.) débordent le seul domaine de l'analyse financière d'entreprise: elles sont à certains égards exemplaires d'une certaine spécificité du savoir-faire expert dans le domaine de la gestion d'entreprise (1).
- b) leur prise en compte oblige à renoncer à la perspective d'une modélisation s'appuyant sur le seul formalisme des systèmes experts de la technologie courante (SETC)(2): elles expliquent ainsi les choix retenus en ce qui concerne l'architecture de SIMFIDE.

Cette section tirera donc argument de ces caractéristiques pour:

- justifier du recours aux techniques de représentation propres à l'I.A. (paragraphe I.3.1).
- justifier du rejet d'une représentation en terme de SETC au profit d'une représentation distribuée de l'expertise (paragraphe I.3.2), l'étude des modèles multi-agents faisant l'objet du prochain chapitre.

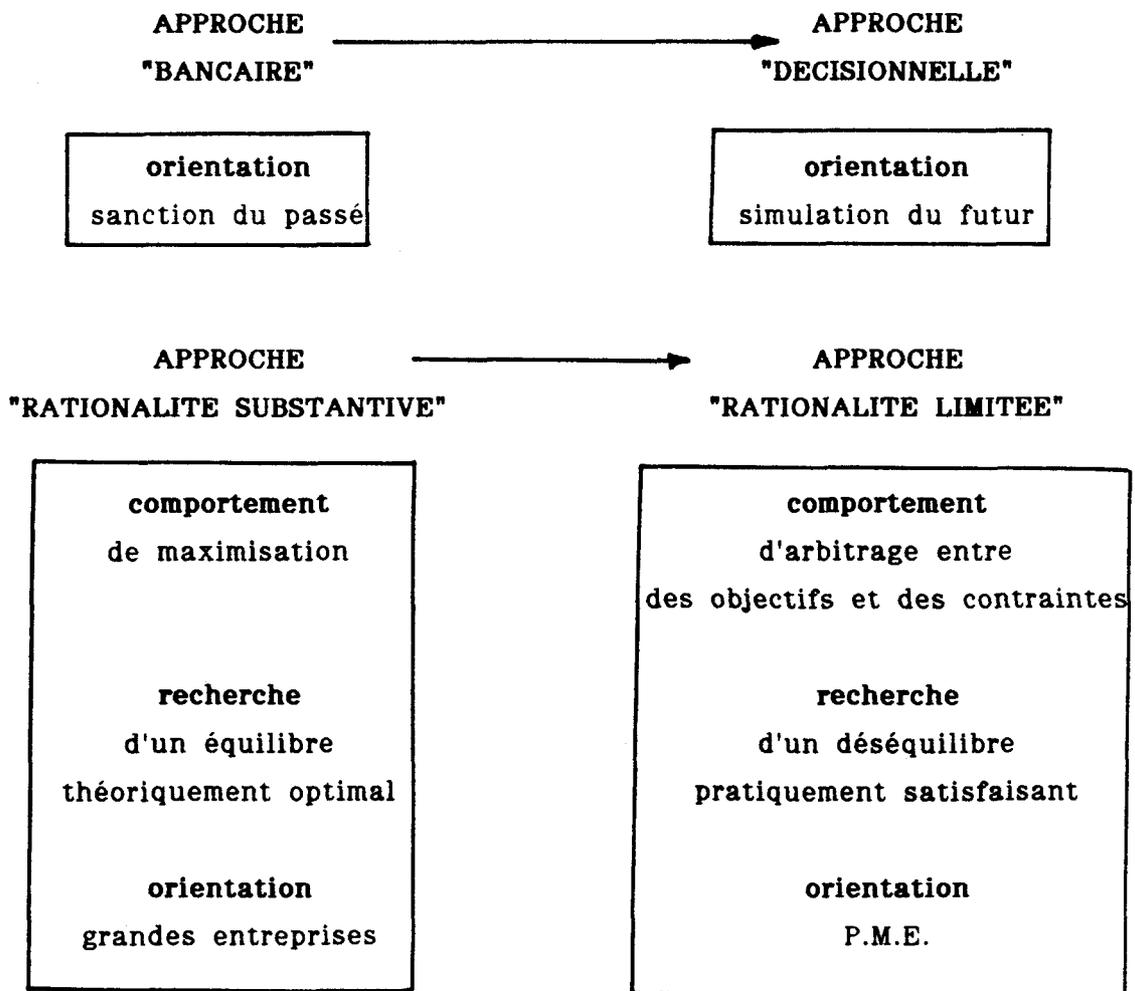
(1) Comme le note Kerschberg [KER 88], la rareté des S.E. de gestion véritablement opérationnels semble pourtant bien témoigner de la réalité d'une telle spécificité.

(2) On entend par SETC [KAS 88] la simple trilogie moteur d'inférence, base de faits et base de connaissances dans laquelle toutes les connaissances du domaine et de la tâche sont représentées au même niveau.

I.3.1. CHOIX D'UNE TECHNIQUE I.A.

1) RATIONALITE LIMITEE & ANALYSE FINANCIERE.

L'approche financière présentée dans la section précédente apporte au domaine du diagnostic financier d'entreprise un changement de problématique, conforme aux nécessités mentionnées dans la première section. Ce changement de problématique peut être schématisé comme suit:



2) UN PEU D' HISTOIRE . . .

En 1983, Simon propose un nouveau paradigme, à caractère comportemental, qu'il formule de la façon suivante:

"Pour résoudre des problèmes avec des machines, faisons comme les gens font !" [SIM 83]

L'idée de Newell et Simon [NEW 72] selon laquelle pour que des systèmes artificiels résolvent des problèmes, il faut d'abord savoir comment font les hommes, donnera naissance à l'un des plus connus paradigme de résolution (1). Brièvement, suivant le modèle GPS, la résolution de problèmes part d'une représentation formalisable en un espace d'états et d'une aptitude à explorer intelligemment cet espace d'états. Des opérateurs permettent de passer d'un état à un autre et les informations dont on peut disposer à chaque état, forment une représentation du problème. C'est cet ensemble que Simon et Newell appellent l'espace de résolution (*problem space*).

La pétition (implicite) de Simon, qui est de "ne plus faire comme les hommes ne font pas", vise directement les modèles des mathématiques et de la recherche opérationnelle, qui représentaient jusqu'alors, les méthodes de résolution de problèmes mais reposent sur des hypothèses jugées irréalistes (2). C'est la raison pour laquelle Simon propose une nouvelle approche:

"L'approche psychologique de la rationalité insiste sur les aspects procéduraux et les méthodes praticables de calcul." [SIM 86]

(1) *Means-Ends analysis et modèle GPS (General Problem Solver).*

(2) Ces hypothèses sont notamment celles qui définissent la rationalité économique du comportement de l'agent dans le cadre de la théorie néo-classique:

- toutes les actions possibles sont identifiables a priori.
- leurs effets sont mesurables par une fonction-objectif d'expression mathématique connue (par exemple la fonction d'utilité dans la théorie néo-classique du consommateur).
- la meilleure décision est celle qui optimise la fonction objectif.

Cette approche est réputée psychologique car elle cherche son inspiration dans le comportement humain où:

- les décisions sont prises les unes après les autres avec une visibilité limitée du futur.
- il n'existe pas de fonction-objectif connue.

"Un processus de recherche efficace et intelligent" conduisant, dans le cadre de ces hypothèses, dites de *rationalité limitée*, à des prises de décision successives est un comportement rationnel (limité). *"Mais aucun processus n'apporte la garantie que la décision correcte est optimale"*: ce que cherche le décideur, c'est une action satisfaisante compte tenu de ses moyens et de ses fins.

"La rationalité limitée se résume à la recherche d'une décision satisfaisante et à l'affirmation que l'on peut organiser rationnellement le processus de recherche temporel de cette décision. C'est à dire que la rationalité est dans la procédure: on a affaire à une rationalité procédurale par opposition à la rationalité substantive.(1)" [LEV 89]

Ce rapide rappel historique permet de souligner l'identité entre:

- le comportement cognitif pouvant être attendu d'un système I.A.: sa recherche heuristique est de la rationalité limitée en action au sens où elle vient d'être définie
- le comportement qu'il s'agit de simuler: celui du responsable prenant des décisions en matière de politique de gestion de PME, tel qu'il vient d'être résumé au paragraphe précédent: comportement d'arbitrage entre des objectifs et des contraintes en vue de rechercher un équilibre satisfaisant.

La raison de cette identité n'est pas fortuite: elle n'est ni une heureuse coïncidence, ni une divine surprise.

(1) *"Nous appelons "rationalité substantive" ce mode de prise de décision ou, devrais-je dire, de "résolution" de la décision, dont le contenu est de maximiser une fonction-objectif."* [SIM 86].

Simon est économiste et informaticien:

- 1) Sa notion de rationalité limitée résulte de ses recherches sur la façon dont les décideurs prennent effectivement leurs décisions à l'occasion de la gestion des organisations [SIM 77].
- 2) La notion de rationalité limitée est précisément conçue par Simon comme une machine de guerre destinée à mettre à bas la théorie classique de la décision dont le plus beau fleuron était le modèle économique néo-classique de comportement rationnel optimal de Von Neumann-Morgenstern, que Simon qualifie de modèle "*olympien*" [SIM 83].

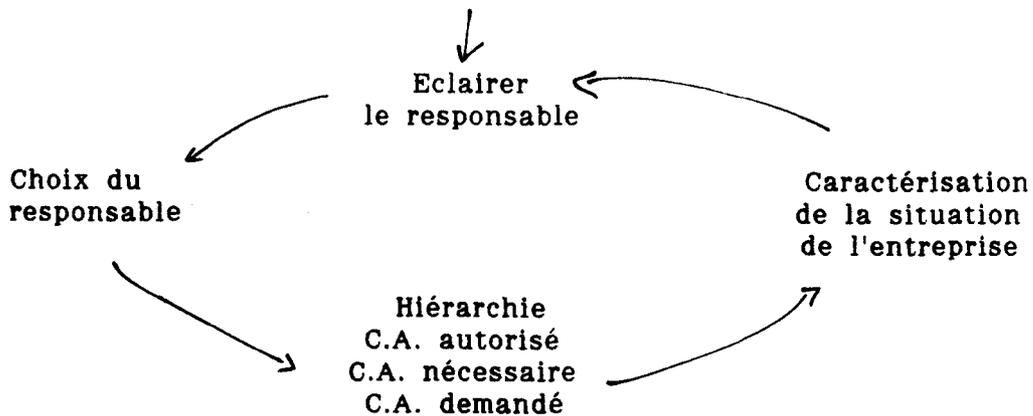
Nous n'insisterons pas sur la critique implicite que véhicule la remarque précédente; est en effet à certains égards paradoxale la démarche qui consiste à:

- utiliser à des fins de représentation un outil informatique (les S.E. ou de façon générale les techniques I.A.) fondé sur un modèle de la prise de décision en rupture avec le modèle néo-classique de comportement rationnel optimal.
- pour représenter des méthodes d'analyse financière
 - . dont le modèle économique de référence est le modèle néo-classique
 - . qui ont pour objet de tracer, pour la grande entreprise en marché de concurrence pure et parfaite, un cadre normatif à un comportement rationnel optimal.

I.3.2 CARACTERISTIQUES DE L'EXPERTISE ET LEURS CONSEQUENCES SUR LA STRUCTURE DU SYSTEME EXPERT.

Le but du système est de représenter et de modéliser l'expert dans sa tâche de conseil. Rappelons que cette activité de l'expert s'organise au travers d'un dialogue:

- (a) aider le responsable à qualifier les contraintes auxquelles se trouve soumise son entreprise ses objectifs et anticipations.
- (b) faire jouer ces contraintes dans le cadre d'une simulation de façon à situer l'entreprise dans une typologie des déséquilibres possibles.
- (c) compte-tenu de cette situation, de l'analyse et des explications fournies par l'expert, guider l'entrepreneur dans le choix d'une stratégie cohérente en termes d'objectifs et d'actions sur les contraintes (retour en (a)).



Une consultation du système doit être un simulacre de l'interaction:

expert/consultant <-----> utilisateur/responsable de PME.

Afin de cerner les exigences liées à une "bonne" représentation de cette interaction, imaginons le système déjà réalisé et en activité et déterminons les présupposés d'un tel fonctionnement.

1) LE RESPONSABLE DE PME PARTICIPE AU PROCESSUS DE RESOLUTION .

Un tel système doit en quelque sorte permettre de projeter sous les yeux de ce responsable une sorte de "film d'anticipation dont il serait le héros aux commandes de sa P.M.E." : les fonctionnalités du logiciel lui permettant d'intervenir dans la définition du scénario, la mise en scène, le découpage du film etc..

Cette image naïve a le mérite de mettre en lumière une caractéristique importante d'un tel système: **L'utilisateur, par ses choix, son appréciation de la situation etc..., fait partie intégrante de l'univers exploré par le S.E.**

A titre d'illustration, on ne saurait ainsi imaginer un tel système expert (dont la fonction est, entre autres, d'aider à esquisser un plan d'actions souhaitables) se privant d'informations telles que:

- *le responsable de la P.M.E. accepte-t-il ou non tel ou tel moyen d'action proposé ?*
- *s'il l'accepte, dans quelle mesure y aura-t-il recours (quantification de l'action) ?*
- *en tout état de cause, quelle estimation a-t-il de sa marge de manoeuvre sur ce paramètre ?*

etc..., toutes informations qui affectent le déroulement du processus de résolution et contribuent à façonner la solution.

Le passage d'un état à un autre doit être pour partie contrôlé par l'utilisateur du système sur la base de ses propres évaluations.

- La fonction d'évaluation associée à chaque état ne saurait être monopolisée par le système et traduire son seul point de vue: elle doit au contraire permettre d'intégrer la perception qu'a l'utilisateur de la situation courante.
- Les déplacements dans l'espace de recherche résultant aussi bien d'actions décidées par l'utilisateur que par le S.E., ce dernier n'a donc plus le contrôle exclusif du processus de résolution.

De façon plus concrète, on ne saurait par exemple accepter du système qu'il s'obstine à exiger de l'utilisateur une révolution dans ses méthodes de production, parce que sa perception de la situation courante le conduit à considérer l'augmentation substantielle de la rotation d'actif comme le meilleur outil d'une nécessaire restauration du CAA, alors que l'utilisateur n'estime, quant à lui, disposer d'aucune marge de manoeuvre sur ce paramètre.

De ce point de vue les SETC ne permettent que:

- un paramétrage a priori de la base de connaissances (accès aux méta-valeurs demandable/non-demandable, déductible/non-déductible) conduisant à un partage rigide des rôles et compétences au niveau des connaissances du domaine.
- un paramétrage du moteur d'inférence conduisant à la détermination d'un mode de résolution de conflit, sous forme d'un critère unique, fixé a priori et ensuite uniformément appliqué à tout ensemble de conflit.

Ils ne permettent donc pas, à partir des stratégies élémentaires offertes par leur moteur d'inférence (chaînage avant/arrière/mixte), une implémentation simple du mode d'interaction mixte qui vient d'être décrit et qui suppose un partage des compétences au niveau des connaissances de contrôle. Il en résulte la

nécessité d'implanter une architecture offrant de meilleures garanties de souplesse en ce qui concerne l'expression du contrôle et permettant une auto-adaptation dynamique du modèle utilisé par le système (base de règles) à une situation courante qui intègre le point de vue de l'utilisateur.

Cet aspect de l'activité du système, qui peut être décrit en termes de processus de recherche d'un équilibre entre les objectifs de l'utilisateur et les contraintes représentées par le système, traduit la nécessité d'un système qui, tout comme l'expert en situation de consultant dialoguant avec le responsable de PME, "comprend, respecte et a besoin de l'utilisateur". Cette problématique, s'opposant au processus à sens unique de la prise de décision automatique [LEV 89], est celle des S.I.A.D. (Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision) qui nous éloigne davantage encore des actuels S.E. en diagnostic financier d'entreprise. Ceux-ci voient leur mérite essentiel lié aux gains de productivité qu'ils procurent aux professionnels de l'analyse financière (1), alors qu'un système d'aide à la décision a d'abord pour objet d'augmenter la qualité des processus de décision plutôt que leur productivité (2):

*"improve the effectiveness of
decisionmaking rather than its efficiency" [KEE 78]*

Les problèmes posés par l'inclusion de l'utilisateur dans l'espace de recherche d'un S.E. de gestion (inadéquation des SETC) sont méconnus des actuels S.E. en diagnostic financier d'entreprises qui sont, rappelons-le, des S.E. à diagnostiquer l'entreprise de l'autre. Ils instaurent donc une réelle dichotomie du sujet de l'expertise (l'utilisateur du S.E.) et de l'objet de l'expertise (l'entreprise diagnostiquée dans le cas des S.E. financiers), tournant ainsi le dos aux leçons d'une histoire cependant récente: les applications informatiques ayant connu le succès auprès des gestionnaires sont presque toujours fondées sur le principe d'une interaction entre l'homme et la machine qui permet d'obtenir un effet de synergie entre

(1) Plus grande facilité de saisie des liasses fiscales et de gestion des dossiers, sortie d'un rapport documenté en quelques minutes.

(2) Selon notre expert, certaines questions n'ont même d'autre mérite que celui d'être posées.

les capacités de calcul et de stockage de la machine et l'expérience et le jugement du décideur (1). Il est à cet égard significatif que dans la plupart de ces logiciels, après qu'ait été saisi l'ensemble de la liasse fiscale dans un module tableur externe au S.E. lui-même, ce dernier déroule son raisonnement sans adresser de question stratégique à l'utilisateur: l'expertise est donc de "type batch" et toute simulation ne se réalise que par modification de valeurs de paramètres à l'intérieur d'un module tableur avant relance du système expert.

2) LOGIQUE DE SITUATION, RAISONNEMENT OPPORTUNISTE, ET REPRESENTATION DISTRIBUEE DE L' EXPERTISE .

a) Logique de situation et raisonnement opportuniste.

Les choix (de moyens d'action, de quantification de ces actions choisies etc...) que fera l'utilisateur, guidé par le système comme il le serait par l'expert-consultant, provoqueront des changements dans la situation simulée de l'entreprise (en termes de typologie des déséquilibres possibles): un état du problème est une situation traduisant le contexte de l'entreprise et la finalité du système est d'aider l'utilisateur à identifier les moyens permettant de conduire à un type de déséquilibre aussi satisfaisant que possible compte tenu de ses objectifs et contraintes.

A chaque situation-état du problème se trouve associée sa caractérisation en termes de contraintes (plus ou moins rigides), moyens d'action (possibles, à privilégier ou à exclure) etc...

(1) On trouvera une argumentation de ce point de vue dans [KLE 88].

Au travers de cette variabilité des situations, c'est évidemment toujours de la même entreprise dont il s'agit et elle sera toujours caractérisée par les mêmes objets:

- ses différents niveaux d'activité potentiels tels que définis à la section précédente: CAA / CAN / CAD.
- les mêmes contraintes: indépendance financière, rentabilité financière, taux de marge, rotation d'actif etc...
- les mêmes entités comptables (capitaux propres, actif, dettes à long et moyen terme etc...) sur lesquelles il est éventuellement possible d'agir.
- éventuellement la permanence d'un (ou des) même(s) problème(s): ainsi, par exemple, le passage d'une situation caractérisée par CAN>CAA>CAD à une situation où CAA>CAN>CAD traduit la persistance d'un problème commercial (CAN>CAD).

Seule la structuration de ces objets sera affectée par le changement de contexte de l'entreprise:

- certaines contraintes passent à l'arrière plan tandis que d'autres se durcissent
- certains moyens d'action jusqu'à présent exclus deviennent prioritaires
- le même problème (commercial si l'on reprend l'exemple précédent) alors qu'il était secondaire (le problème était en effet d'abord financier) devient prioritaire et se pose dans des termes modifiés (en raison de la modification des contraintes).

Du point de vue de la représentation, on peut dire qu'un premier espace de résolution est formé de modèles qui structurent différemment les mêmes objets de l'univers étudié: niveaux d'activité, hiérarchisation des sous-problèmes (problème commercial ou financier d'abord), hiérarchisation des contraintes, des moyens d'action qui correspondent aux différentes entités comptables...

Ceci nous semble traduire une caractéristique importante et exemplaire de l'expertise à représenter: **un même problème se traite différemment suivant le contexte dans lequel il se pose.**

Ce premier niveau ou espace de recherche correspond à la mise en oeuvre d'une connaissance que nous qualifierons de **connaissance stratégique**. Il ne s'agit pas essentiellement, sachant ce que recouvre la notion de chiffre d'affaires autorisé, de décrire les moyens d'augmenter le niveau d'activité autorisé par la structure financière de l'entreprise. Le vrai problème est de savoir, compte tenu de la situation de l'entreprise (choix du modèle), lequel de ces moyens privilégier. Le savoir-faire expert en ce domaine commence donc avec cette connaissance de type stratégique qui se situe au-dessus de la simple connaissance des relations de cause à effet entre les divers ratios financiers.

Cette dernière connaissance se situe à un niveau inférieur.

A ce second niveau, un modèle étant fixé (c'est à dire dans une situation/contexte d'entreprise donné), la recherche et les connaissances porteront sur les informations à fournir à l'utilisateur et les conseils à lui prodiguer. Un problème a été identifié comme prioritaire par la recherche réalisée au niveau supérieur; un moyen d'action a été identifié comme devant être privilégié: comment traiter ce problème, quelle en est la nature exacte et quelles sont les différentes modalités possibles d'utilisation du moyen d'action considéré ?

L'expertise à représenter traduit ce que nous appellerons une **logique de situation**: **le processus de jugement du décideur varie suivant le contexte dans lequel se pose un même problème.**

Pour répondre à cette seconde caractéristique le système doit également faire preuve de capacité à auto-adapter son processus de recherche aux conditions dans lesquelles il se déroule: il doit mettre en oeuvre un modèle de raisonnement opportuniste.

b) Représentation distribuée de l'expertise.

La traduction sous forme S.E. d'une telle aptitude suppose un modèle de raisonnement qui ne correspond à aucun de ceux offerts par les moteurs d'inférence des SETC en raison de la trop grande simplicité de leur principe de résolution de conflit.

Partons d'un exemple.

On peut aisément représenter par une base de règles le réseau de dépendances entre un certain nombre d'entités comptables. L'interprétation par le moteur d'inférence d'une telle base, en chaînage arrière par exemple, permettra de "produire" tous les moyens permettant d'obtenir comme but la variation de l'une des entités dans un sens souhaité: mais lequel choisir ou dans quel ordre ?

Une réponse à cette question peut être figée dans la base par sa structuration et/ou l'association de priorités aux règles ou aux paquets de règles.

Mais qu'advient-il si cette réponse doit être apportée de façon dynamique? Supposons (logique de situation) que cette sélection du meilleur dépende de la nature du problème ayant motivé le choix initial du but: pour un but identique les moyens sont inchangés mais leur efficacité présumée dépend du contexte.

Une structuration possible pourrait évidemment alors être du type:

SI situation_i ALORS stratégie_i

SI stratégie_i ALORS {paquet de règles_i}

..... où les règles des ensembles i représentent les mêmes dépendances entre les mêmes entités comptables, mais sont réordonnées (ou affectées de priorités) conformément aux nécessités de la stratégie(i). L'inconvénient est dès lors évident: il tient à la duplication redondante des connaissances relationnelles représentées par ces paquets de règles. La nécessaire

factorisation de cette connaissance passe par l'abandon du modèle du SETC et la représentation explicite du savoir stratégique:

- soit par introduction de véritables métarègles ([GEN 83], [DAV 77]).
- soit par une représentation distribuée de l'expertise: système multi-experts.

Pour peu que l'expertise se prête naturellement à une telle distribution (ce qui renvoie à la décomposabilité du problème traité), une représentation multi-experts, outre l'avantage de plus grande modularité de l'application, permet d'aboutir à un système présentant ces qualités d'adaptabilité et de comportement opportuniste qui nous intéressent pour deux raisons (1):

- le caractère distribué d'un système d'I.A.D. permet la représentation de perspectives ou de points de vue alternatifs variés (commercial, financier, structure de charges par exemple) que l'on pourra lier à l'état courant de la résolution.
- la représentation multi-agents permet d'apporter au processus de transfert de contrôle lors de l'invocation d'une source de connaissances deux qualités difficiles à égaler dans le cadre de méthodes plus classiques:
 - . elle procure au module appelant un pouvoir de choix maximal au moment de l'exécution
 - . elle permet de faire du processus d'échange d'information lors du transfert de contrôle un processus bilatéral.

Pour ces raisons, un système fondé sur une représentation distribuée de l'expertise intègre naturellement un pouvoir potentiel d'adaptation à son contexte d'exécution supérieur aux systèmes classiques.

(1) Un exposé plus détaillé des avantages liés à la distribution de l'expertise sera présenté supra en section I du chapitre II, consacré aux modèles multi-agents.

c) Décomposabilité du problème.

La distinction des trois niveaux d'activité (CAA/CAN/CAD) constitue une clé d'entrée dans une typologie des situations qui permet d'assurer une réduction de la complexité combinatoire du processus de reconnaissance de la situation de l'entreprise.

Cette même distinction rend presque décomposable le problème du repérage et de la planification d'actions favorisant une amélioration de la situation de l'entreprise: considérée de ce dernier point de vue, cette distinction des trois niveaux d'activité agit comme clé de décomposition du problème initial en sous-problèmes n'ayant qu'une faible interaction et renforce ainsi cette idée de distribution fonctionnelle de l'application (1).

En effet, quelle que soit l'analyse faite de la situation initiale de l'entreprise et la situation cible vers laquelle il est jugé souhaitable de tendre, la concrétisation de la transition de la situation initiale à la situation objectif passera toujours par une inflexion dans un sens ou dans un autre de tout ou partie des trois niveaux d'activité.

Varié en fonction de la situation initiale de l'entreprise et de son profil d'évolution révélé par la projection:

- (1) la priorité relative accordée à l'action sur chacun de ces niveaux d'activité.
- (2) les moyens à mettre en oeuvre pour obtenir ces variations souhaitables.

En d'autres termes, à partir de l'analyse du profil d'évolution révélé par la projection s'élabore une stratégie.

Les objectifs qui implémentent cette stratégie s'expriment toujours en termes d'intérêt privilégié pour certains des trois niveaux d'activité potentiels de l'entreprise.

(1) Ce point sera traité de façon plus détaillée au chapitre III consacré à l'application SIMFIDE.

Cette focalisation de l'intérêt sur l'un ou l'autre des trois niveaux d'activité traduit la nécessité, compte tenu de la situation de l'entreprise, de privilégier un point de vue particulier sur cette entreprise.

- priorité au CAD = problème essentiellement commercial.
- priorité au CAA = problème essentiellement financier.
- priorité au CAN = problème d'exploitation (charges et rentabilité).

En résumé:

L'expertise à modéliser présente une double caractéristique qui traduit, de façon plus générale, certaines des particularités du processus de décision dans le domaine plus global de la gestion:

- Nécessité de prendre en compte la dimension LOGIQUE DE SITUATION [ERN 86] du savoir expert dans le domaine de la gestion: cette caractéristique qualifie un PROCESSUS DE JUGEMENT OU LE RAISONNEMENT DU DECIDEUR VARIE SELON LE CONTEXTE DANS LEQUEL SE POSE UN MEME PROBLEME et traduit l'importance des connaissances stratégiques.
- L'activité du système doit traduire la recherche d'un équilibre système/utilisateur obtenu comme résultat d'une interaction mixte fondée sur la mise en coopération de l'utilisateur et du système.

Il découle de cette double exigence, la nécessité d'élaborer un système faisant preuve de ce que nous avons appelé une aptitude à un raisonnement opportuniste pour qualifier sa capacité à auto-adapter son processus de recherche aux conditions dans lesquelles il se déroule.

L'inadéquation des SETC tient alors à ce que le formalisme des systèmes de production suppose une dichotomie entre la connaissance experte traduite sous forme de règles et sa manipulation

(réputée non experte) confiée à la seule force de l'algorithme. Or dans le cas qui nous intéresse le processus de sélection relève d'une connaissance experte intégrant le point de vue de l'utilisateur dont la logique du formalisme des systèmes de production exigerait qu'elle soit exprimée explicitement sous la forme déclarative des règles, tandis que les modalités pratiques de mise en oeuvre de ce même formalisme dans les SETC confine cette expression au simple paramétrage du moteur d'inférence et/ou à une formulation implicite et figée au travers de l'ordre des règles dans la base.

La formalisation de l'expertise traduisant sa "naturelle" aptitude à une distribution fonctionnelle, cette capacité d'auto-adaptation du système peut trouver sa solution dans une représentation distribuée de l'expertise.

I . 4 .
CONCLUSION DU CHAPITRE I

En raison d'une réflexion préalable insuffisante sur les particularités de l'approche financière qu'ils modèlisent, les actuels S.E. financiers héritent de caractéristiques identiques (et, pour certaines d'entre elles, négatives nous semble-t-il) dérivées des spécificités de cette approche financière commune sous-jacente.

Comme systèmes de génération automatique de rapports, ils tournent notamment le dos à une longue "tradition" d'applications informatiques de gestion conçues en termes de Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (S.I.A.D.), où, à la différence des actuels S.E. financiers, l'application est caractérisée par son aptitude à :

- améliorer la qualité du processus de décision plus qu'à en accroître la productivité.
- permettre à l'utilisateur de participer à l'élaboration du résultat.
- maintenir comme ultime décideur, l'utilisateur lui-même, chargé, en dernière instance, d'apprécier le rapport au réel du résultat produit en fondant cette appréciation autant sur sa propre expérience que sur l'information produite par le système.

Autant en raison de cette approche financière de type bancaire, qu'en raison des fonctionnalités restreintes de l'outil résultant (mais ces deux pôles s'impliquent mutuellement), ces applications voient leur usage possible réservé aux experts financiers eux-mêmes.

Nous avons adopté une démarche différente:

- 1) partir des spécificités du besoin afin d'élaborer un cahier des charges: nécessité d'élaborer un système intelligent d'aide à la décision.
- 2) Réflexion sur le choix d'une expertise appropriée compte tenu de cet objectif: rejet des analyses de ratios en termes de sanction du passé au profit d'une analyse en termes de simulation du futur.
- 3) analyse de la connaissance sous-jacente à cette expertise de façon à déterminer les qualités requises par l'outil informatique de représentation de cette connaissance.

Cette analyse de la connaissance, qui a fait l'objet de la section III du présent chapitre, a mis l'accent sur deux particularités de l'expertise à modéliser:

- (a) la participation de l'utilisateur au processus d'élaboration du plan d'actions.
- (b) la notion de logique de situation.

Pour y répondre, l'outil de représentation adopté doit:

- (c) permettre un partage du contrôle du processus de recherche entre l'utilisateur et le système.
- (c) (auto-) adapter le modèle qu'il représente à l'évolution de la situation courante et à la perception qu'en a l'utilisateur: nous avons parlé de raisonnement opportuniste pour qualifier cette aptitude.

Les particularités (a) et (b) ne sont cependant spécifiques ni à l'expertise particulière que nous avons choisie, ni même au domaine de l'expertise financière. Elles nous semblent propres à toute expertise réellement opérationnelle dans le domaine plus général de la gestion.

Témoigne de cette généralité, la nature des qualités (c) et (d) qu'elles imposent à l'outil informatique de représentation: ces qualités sont en fait celles que se doit de posséder tout S.I.A.D.

Inversement, c'est parce que les spécificités (a) et (b) caractérisent, le domaine général de la gestion, que les S.I.A.D. y connaissent le succès que l'on sait.

Enfin, l'absence (à notre connaissance presque totale) de S.E. de gestion véritablement opérationnels nous semble devoir largement s'expliquer par la difficulté à réaliser un outil doté de ces qualités caractéristiques des S.I.A.D. dans le cadre du formalisme des S.E. classiques. Cette rareté témoigne autant d'une relative particularité du domaine d'application, que de la difficulté à élaborer, dans le cadre des S.E. classiques, un outil doté des qualités requises pour y répondre.

Ces raisons nous ont donc conduit à rejeter une approche en termes de S.E. classique.

Par ailleurs,

- la bonne décomposabilité du problème (sur laquelle nous reviendrons en détail au chapitre III), une fois ce problème posé dans les termes de notre expertise,
- l'aptitude reconnue aux systèmes multi-agents (sur laquelle nous reviendront au chapitre suivant) à faire preuve de qualités d'opportunisme,

nous ont amené à opter pour une telle représentation distribuée: chaque agent, spécialisé dans un point de vue particulier, collabore avec les autres agents du système et avec l'utilisateur, à l'élaboration d'une solution.

Le chapitre II sera consacré à l'étude de ces modèles multi-agents.

En effet, le domaine de l'Intelligence Artificielle Distribuée (I.A.D.) est encore "jeune" et les solutions qui s'y élaborent sont encore fort loin d'être prêtes à l'emploi. Nous montrerons notamment que la mise en oeuvre de ce type de modèle suppose d'apporter une réponse à un problème de cohérence globale du système qui demeure encore à la fois mal posé et mal résolu.

Le chapitre II sera donc consacré à l'étude de ce problème en vue de définir un modèle multi-agents doté d'une solution au problème de cohérence globale à la fois claire, praticable et adaptée à la réalisation qui nous intéresse.

Le chapitre III aura pour objet de:

- présenter le prototype SIMFIDE, résultat de l'application de ce modèle à la représentation de l'expertise que nous avons choisie,
- montrer que l'architecture choisie permet bien d'obtenir un outil doté des qualités qui ont été définies dans ce chapitre.

CHAPITRE II

**MODELES DE CONTROLE
EN
UNIVERS MULTI-AGENTS.**

<p style="text-align: center;">II.1 INTRODUCTION POSITION DU PROBLEME.</p>
--

**II.1.1 LA METAPHORE FONDATRICE DE
L'I.A.D.**

Autrefois reléguée au second plan, la représentation des connaissances est devenue un thème de recherche prépondérant dans le domaine de l'intelligence artificielle. Cette transformation résulte d'une évolution de perspective: le passage d'un point de vue caractérisé par une stratégie de la puissance ("*power based strategy*" (1)) à une approche fondée sur la connaissance ("*knowledge based approach*").

"Les chercheurs commencent à comprendre qu'en matière de programmation les tours d'adresse sont intéressants, mais non généralisables... On commence à reconnaître, dans les sphères de l'I.A., que le noeud du problème est de savoir comment les humains exploitent leur bagage de connaissances, et sous quelle forme ils l'entreposent..." R. Schank [SCH 77] (2).

Dans cette nouvelle perspective, l'I.A. s'oriente résolument vers la recherche de moyens permettant à un système informatique de mimer l'être humain dans son activité de connaissances.

"There are two basic approaches in artificial intelligence, the performance oriented and the psychologically oriented approach. In the performance oriented approach, the goal is essentially to solve a

(1) recherche d'algorithmes généraux capables de résoudre n'importe quel problème.

(2) cité par Dreyfus [DRB 79] p154.

particular problem. In the psychological approach the goal is also to solve the problem but with the additional constraint, that the way in which the program solves the problem should reflect in some sense the way a human being would do the job." [PFE 86]

Ce souci d'une proximité étroite entre conceptualisation "réelle" et conceptualisation artificielle (ou informatique) des connaissances a stimulé les recherches en I.A. ayant pour objet de fournir les moyens susceptibles de permettre un simulacre aussi parfait que possible d'un processus de connaissance réel.

Les bénéfices attendus de l'illusion ainsi créée sont de deux ordres (1):

- Un premier intérêt tient à la puissance déclarative du modèle informatique et des outils qui l'implémentent: *"Cette proximité (entre conceptualisation réelle et conceptualisation artificielle des connaissances) peut se mesurer par la facilité avec laquelle les experts non informaticiens disposant de la connaissance appréhendent les concepts informatiques et l'intuition naturelle qu'ils peuvent en avoir. Nous pouvons parler alors de puissance déclarative d'un modèle informatique et des outils l'implémentant."* [CAR 89]
- Mais il y a, nous semble-t-il, un second intérêt, bien que davantage implicite. Si, en raison des qualités d'adéquation de l'outil de représentation informatique adopté, il est possible d'établir une bonne correspondance entre le modèle conceptuel du processus de connaissance et sa représentation artificielle, il semble dès lors admissible que le simulacre informatique obtenu puisse ainsi acquérir, de façon dérivée, c'est à dire par le jeu d'une métaphore implicite, les qualités communément prêtées au modèle original qu'il prétend représenter. La notion de comportement cognitif d'un modèle informatique prend appui

(1) Ces bénéfices sont sans rapport avec une quelconque croyance selon laquelle l'ordinateur pourrait ainsi "connaître" à son tour: *"L'ordinateur ne manipule que des symboles; il ne saurait y attacher de signification; donc on ne peut pas dire qu'il "connaisse" l'information qu'il traite...: nous nous contenterons de dire, comme il est classique en physique, que tout doit se passer comme si il connaissait le domaine sur lequel il travaille, et ne chercherons pas à décider si l'utilisation du verbe "connaître" dans ce contexte est légitime ou abusive."* [KEY 82].

sur cette analogie entre un modèle de la connaissance et sa copie informatique, analogie dans laquelle l'usage métaphorique (1) qui est fait de l'original lui permet de prêter ses qualités au simulacre informatique qui est ainsi sensé le mimer et non plus seulement le représenter.

Aussi bon nombre de courants en I.A. trouvent-ils à leur fondement ce qui pourrait être appelé un "modèle de connaissance à usage métaphorique": le "*committee of experts*" de Lenat [LEN 75], le "*contract net*" de Davis [DAV 83], les "*blackboard systems*"...

La validité (ou le réalisme) de ces modèles ne sera pas discutée ici (2): ils seront admis comme s'il s'agissait de postulats. Ne sera pas davantage débattue la réalité des qualités qui leur sont communément prêtées. Le problème qui nous intéressera lorsque de telles métaphores seront discutées (en l'occurrence les métaphores du réseau de contrat et du tableau noir) est celui de savoir si les outils informatiques de représentation adoptés offrent bien toutes les qualités nécessaires à l'usage métaphorique du modèle initial qui est finalement visé.

L'*Intelligence Artificielle Distribuée* (I.A.D.) repose sur une métaphore fondamentalement différente de celle de l'intelligence artificielle classique.

L'intelligence artificielle classique postule qu'un système I.A. représente (dans le sens qu'il a pour objet de *simuler*) un être humain dans l'accomplissement d'une tâche qui requiert à la fois connaissances, expérience et raisonnement. Dans cette perspective, la recherche, s'appuie sur les résultats des sciences cognitives qui

(1) Métaphore: Procédé par lequel on transporte la signification propre d'un mot à une autre signification qui ne lui convient qu'en vertu d'une comparaison sous-entendue. (Larousse).

(2) Il faut bien admettre que les modèles du processus de connaissance adoptés reposent le plus souvent sur des conceptions extrêmement sommaires. Le modèle de l'esprit humain véhiculé par l'I.A. classique est des plus réducteur: mémoire à long terme/mémoire à court terme, motivations réduites à l'état de buts, comportements simplifiés à l'établissement puis à la poursuite de plans... De même les sociétés d'agents de l'I.A.D. s'apparentent-elles beaucoup aux "sociétés d'opérette" imaginées par les économistes néo-classiques du XIX^{ème} siècle. Pour une analyse critique sur ce thème, on pourra se reporter au classique "*Intelligence artificielle: mythes et limites.*" de Dreyfus [DRE 72] ou au plus récent "*L'intelligence artificielle en question.*" de Winograd [WIN 86].

recourent à l'introspection chez l'individu isolé afin d'en étudier le processus interne de connaissance et de raisonnement: les préoccupations sont alors centrées sur l'élaboration de mécanismes organisationnels (piles ou agendas de buts par exemple) susceptibles de permettre une représentation de la prise de décisions de contrôle et des changements de contexte dans le cadre d'une localisation unique du contrôle et de la focalisation d'attention: l'agent unique auquel s'identifie le système.

Les systèmes I.A.D. sont conçus pour simuler le comportement d'une "société" d'agents autonomes travaillant en commun pour aboutir à un objectif global: la résolution d'un problème, l'établissement d'un diagnostic etc... Cette approche conduit à étudier les stratégies et représentations auxquels des agents constitués en un groupe peuvent avoir recours afin de coordonner leurs activités.

Les problèmes spécifiques au thème multi-agents sont ceux qui traitent de l'agent au sein d'un groupe, et ceux qui portent sur le groupe d'agents en tant qu'entité.

Les problèmes relatifs à l'agent au sein du groupe concernent, selon l'expression de Ferber ([FER 88]), les "*capacités sociales*" des agents:

- les agents ont-ils tous les mêmes capacités ?
- les agents sont-ils dotés des capacités leur permettant de mutuellement se percevoir ? Un agent pourra-t-il donc identifier le comportement d'un autre agent ou évaluer une situation où interviennent d'autres agents et raisonner sur autrui ?

Les problèmes spécifiques au groupe d'agents portent notamment sur l'architecture globale représentative d'un mode d'organisation du groupe garant de ce que de l'agrégation des actions individuelles résulte un comportement global cohérent et coopératif.

Dès le début des années soixante-dix des travaux (essentiellement américains) sont marqués par cette approche: on citera

notamment les travaux de Lenat sur les "Beings" ("*BEINGS: knowledge as interacting experts.*" [LEN 75]), ceux de l'équipe de Lesser qui, avec le système HEARSAY-II, seront à l'origine du modèle du tableau noir ([LES 77], enfin les travaux de Hewitt ([HEW 77]) qui donnèrent lieu à la définition des langages d'acteurs.

II.1.2 BENEFICES ATTENDUS DE LA DISTRIBUTION DE L'EXPERTISE.

Durfee [DUR 89] avance cinq arguments en faveur d'une distribution de l'intelligence. Certains sont classiques et tiennent à l'avantage qu'il peut y avoir à distribuer toute application informatique: possibilité de réduction de la complexité par décomposition du problème ou intérêt d'une solution distribuée par rapport à des critères d'efficacité, de fiabilité, de sûreté de fonctionnement, de modularité, ou enfin par rapport à des critères plus spécifiquement techniques liés notamment aux développements actuels en matière d'architecture et de communication interprocesseurs.

D'autres raisons sont spécifiques aux systèmes I.A.D.:

- Certains problèmes sont distribués "par nature" et trouvent plus facilement à se décrire au travers d'une représentation multi-agents.

Il peut s'agir d'une:

- . *distribution géographique*: par exemple distribution spatiale de capteurs dans le cas d'un système de surveillance de trafic ou distribution de tâches distinctes sur des sites distants.
- . *distribution logique*: décomposition fonctionnelle d'un problème en sous-problèmes et en tâches

spécifiques ou multiplicité des points de vue ou perspectives sous lesquelles un même problème peut être posé.

. *distribution temporelle*: dans une entreprise, par exemple, un processus de fabrication peut être scindé en plusieurs étapes gérées chacune par un module expert.

- enfin une dernière raison est d'ordre épistémologique:

"Cooperation, and more generally coordination, are complex and little understood phenomena. One approach to validating theories about such phenomena is to develop and test computer models that embody those theories. Just as A.I. systems are used to validate theories of problem solving and intelligence in linguistics, psychology, and philosophy, CDPS (Cooperative Distributed Problem Solving) systems can help validate theories in sociology, management, and organizational theory." [DUR 89].

Il est utile d'ajouter à cette liste deux arguments supplémentaires d'un intérêt tout particulier compte tenu du domaine d'application visé par le présent travail.

Pour les problèmes par nature distribués, une représentation multi-agent aboutira à un système présentant des qualités d'adaptabilité et de comportement opportuniste: Le caractère distribué d'un système d'I.A.D. permet la représentation de perspectives ou points de vue alternatifs variés que l'on pourra lier à l'état courant de la résolution.

Un tel système intègre donc naturellement un pouvoir potentiel d'adaptation à son contexte d'exécution supérieur aux systèmes classiques.

Ceci résulte de ce que la représentation multi-agents permet d'apporter au processus de transfert de contrôle lors de l'invocation

d'une source de connaissances deux qualités difficiles à égaler dans le cadre de méthodes plus classiques:

- Les méthodes classiques ne procurent au module appelant qu'un pouvoir de choix minimal au moment de l'exécution.

Dans le cas d'un appel de procédure standard par exemple le nom du module à appeler est explicitement et a priori inscrit dans le code par le programmeur. Cette méthode ne laisse donc aucune place à un processus de choix opportuniste et à un certain non-déterminisme à l'exécution.

Dans le cas des systèmes de production classiques, un certain degré de choix existe pour le module appelant (qui est ici l'interpréteur) quant à la source de connaissances à invoquer (qui est ici une règle compte tenu de la granularité propre à ce type de représentation) puisque l'ensemble de conflits peut inclure plusieurs règles. Mais le mécanisme par lequel une seule règle se trouve finalement déclenchée ne tient compte que d'un critère unique, fixé a priori et ensuite uniformément appliqué à tout ensemble de conflits: sélectionner la première règle, préférer les règles qui ont le moins servi ou les moins coûteuses à évaluer etc... Dans le cas d'un système multi-agents, la représentation adoptée n'interdit pas a priori à un agent appelant d'entrer en communication avec tout autre agent du système: le choix est donc complètement ouvert au moment de l'exécution. D'autre part, la sélection de la source de connaissances qui sera finalement invoquée résultera de l'utilisation que le module appelant fera, dans son contexte d'exécution, des connaissances dont il dispose. De ce point de vue le résultat est donc analogue à celui qui peut être obtenu par le recours à des méta-règles ([GEN 83], [DAV 77]) avec lesquelles la sélection de la source de connaissances à appliquer est conçue comme un problème à part entière à la résolution duquel sont appliquées les méthodes mêmes utilisées pour résoudre les problèmes du domaine.

- Les méthodes classiques d'invocation et de transfert de contrôle n'autorisent qu'un échange minimal et unilatéral d'information entre module appelant et module appelé.

Ces méthodes ne permettent en effet en aucun cas au module appelé de juger de l'opportunité et de l'intérêt de l'appel dont il est l'objet en fonction de son propre point de vue, c'est à dire en appliquant, dans son contexte d'invocation, les connaissances dont il dispose. A cet égard, la représentation distribuée peut permettre une généralisation du résultat obtenu par le recours à des méta-règles. La représentation distribuée ne restreint pas a priori la communication à une communication unilatérale: elle peut s'accommoder de permettre aux deux intervenants (module appelant et module appelé) de participer activement au processus d'invocation en utilisant les connaissances dont elles disposent et en se communiquant mutuellement de l'information.

II.1.3 DICHOTOMIE MICRO/MACRO ET CONFLIT CONNAISSANCE LIMITEE VS COHERENCE GLOBALE

Le bénéfice de ces avantages suppose cependant de parvenir à résoudre un problème classique mais qui, dans le cas des systèmes d'I.A.D., nous semble se poser en des termes radicalement nouveaux: le problème du contrôle.

"Achieving global or regional coherence with only local control is probably the primary problem to which DAI reseachers have adressed themselves, to date." [GAS 89]

Le paradigme sur lequel ces systèmes se fondent introduit en effet une dichotomie nouvelle entre ce que nous appellerons un niveau micro et un niveau macro.

Le niveau micro est le niveau des agents individuels. C'est le niveau auquel la connaissance se trouve décrite dans le système. Mais puisque chaque agent ne détient qu'une partie de la connaissance (1), celle-ci n'existe donc dans le système qu'à l'état de connaissance partielle et incomplète. Ce niveau micro est aussi le niveau auquel les actions sont décidées et entreprises (par les agents du système): les décisions et actions du système sont donc fondées sur une connaissance partielle et incomplète.

Le niveau macro est le niveau auquel un résultat est attendu: la solution du problème.

Alors que le paradigme classique réalise l'identification de ces deux niveaux par l'identification du système à un agent unique, le paradigme de l'I.A.D., en instaurant la dichotomie des niveaux micro et macro, introduit un conflit latent entre cohérence globale et connaissance limitée.

COMMENT OBTENIR DU SYSTEME UN COMPORTEMENT GLOBAL COHERENT ALORS QUE CE COMPORTEMENT EST LE RESULTAT DE L'AGREGATION D'ACTIONS BASEES SUR UNE CONNAISSANCE A LA FOIS LOCALE ET INCOMPLETE ?

Ce problème posé par l'existence d'un conflit latent cohérence globale/actions locales fondées sur une connaissance limitée, problème généralement (et malencontreusement (2)) dénommé problème du contrôle dans la littérature concernant l'I.A.D., diffère notablement du thème plus connu du contrôle en matière de système d'exploitation ou de traitement distribué.

(1) C'est tout l'intérêt de la distribution car il en résulte les avantages précédemment décrits: modularité, prise en compte de points de vue multiples, comportement opportuniste...

(2) Il s'agit là à notre avis d'une maladresse. Cette dénomination entretient une confusion préjudiciable avec le problème du contrôle tel qu'il se pose en matière de système d'exploitation et trouve son origine dans une mésinterprétation de la nature réelle du problème (de cohérence) que doit résoudre le contrôle dans un système d'I.A.D.

Dans ce dernier domaine ("*distributed processing*"), la coopération, qui est conçue comme une forme de compromis entre des actions potentiellement conflictuelles, a pour objectif de résoudre les problèmes d'accès ("*deadlock*") et de protection posés parce que l'on englobe dans un système unique des tâches disparates. En matière de résolution distribuée de problèmes, la fonction dévolue au contrôle déborde cette simple tâche technique de gestion d'accès concurrents et d'allocation de ressources rares entre entités potentiellement conflictuelles: ayant obtenu des différentes entités qu'elles n'entrent pas en conflit, il reste à faire en sorte qu'elles se comportent comme une véritable équipe vis à vis du problème à résoudre. La fonction d'un système d'exploitation est d'assurer la gestion des ressources. Une fois réglés les problèmes de conflit liés au partage des ressources, le but est atteint, alors que pour un système d'I.A.D., cet aspect n'est en quelque sorte qu'un prérequis.

Comme le notent Davis et Smith (in [DAV 83]):

"(in distributed problem solving)... we view cooperation in terms of benevolent problem solving behavior, i.e. how can systems that are perfectly willing to accomodate one another act so as to be an effective team? Our concerns are thus with developing frameworks for cooperative behavior between willing entities, rather than frameworks for enforcing cooperation as a form of compromise between potentially incompatible entities."

Par ailleurs, en matière de résolution distribuée de problèmes, l'une des tâches du système est l'analyse et la décomposition du problème initial alors qu'en matière de S.E. ou de traitement distribué, une partition des tâches à accomplir et des fonctions des ressources existe a-priori: on dispose ainsi d'une connaissance complète du problème permettant d'atteindre l'objectif de gestion des ressources.

Dans le domaine de l'I.A.D., à supposer résolus les problèmes de conflits d'accès et d'allocation des ressources, reste alors à régler le problème de cohérence tel que précédemment formulé (passage micro/macro). En d'autres termes, en matière de résolution distribuée

de problèmes, les solutions apportées au problème du contrôle, dans son acception classique, doivent en même temps offrir prétexte à apporter des solutions au problème de cohérence propre à l'I.A.D. en servant de support à la représentation d'une connaissance de contrôle: la connaissance concernant la stratégie de résolution du problème.

En résumé:

Dans le domaine de l'I.A.D., la possibilité de conflits survient parce que l'intérêt fondamental de la résolution distribuée tient à ce qu'elle permet de ne doter chaque agent résolveur que d'une vision limitée et locale du problème global. Cependant un effet global est attendu: la solution du problème. Mais rien ne permet de garantir qu'une coordination globale résultera de la simple agrégation d'actions fondées sur une connaissance incomplète et une vision partielle du problème. Ainsi la faisabilité d'un système de résolution distribuée tient au caractère local de l'action et de la connaissance, tandis que, dans le même temps, ce caractère limité de la connaissance ainsi rendu nécessaire à la faisabilité du système ne permet pas de garantir la cohérence de son activité globale.

II.1.4 INTERDEPENDANCE

COMMUNICATION/CONTROLE/ APTITUDE SOCIALE

1) Nombre de niveaux de contrôle.

Dans un univers multi-agents, du caractère décentralisé de l'action résulte le problème du maintien de la cohérence globale du système. Se pose dès lors de façon cruciale dans les systèmes relevant de cette problématique la question de savoir qui aura à charge cette tâche de "maintien de l'ordre":

Qui exerce le contrôle ?

On peut formellement imaginer plusieurs réponses à cette question en fonction du nombre de niveaux de décisions de contrôle existant dans le système:

Tout le monde: (0 niveau de contrôle) et nous parlerons alors de **contrôle distribué.**

Un agent unique (1 niveau de contrôle), situation qu'on désignera par la suite sous le terme de **contrôle centralisé.**

Plusieurs agents à l'exclusion de tous les autres (pluralité de niveaux de contrôle). Le contrôle s'exerce alors de façon pyramidale et nous le qualifierons de **contrôle hiérarchique.**

Le choix ainsi proposé ne peut être fait sans considération du contenu du contrôle.

2) Connaissances de contrôle et capacité sociale des agents chargés du contrôle.

Le(s) module(s) responsable(s) du maintien de la cohérence du processus global de résolution devra notamment faire preuve d'une aptitude à:

Décomposer la tâche principale en sous-tâches: ce qui suppose une *connaissance pluridisciplinaire* et non parcellaire.

Affecter ces sous-tâches aux agents les plus compétents: ce qui suppose une *connaissance sur le savoir faire des différentes expertises*.

Gérer les interactions entre agents: le caractère coopératif des initiatives prises de façon décentralisée impose d'éviter qu'une action d'un agent ne conduise à faire échouer le plan d'un autre agent et d'assurer qu'en réponse à une requête un agent fasse bien le nécessaire pour que puisse aboutir le plan d'un autre agent. La gestion de ces interactions implique donc un *raisonnement sur autrui*.

Tout ceci suppose d'entretenir, chez l'agent chargé du contrôle, ou chez chaque agent qui en est pour partie responsable suivant le nombre de niveaux de contrôle présents dans le système, un modèle du monde (connaissance globale du processus de résolution) et un modèle de l'autre ((re)connaissance d'autrui) qui en définiront ce que nous appellerons ses capacités sociales (1).

3) Maturité sociale des agents et nombre de niveaux de contrôle.

La solution du contrôle parfaitement distribué (0 niveau de contrôle) suppose que chaque agent dispose d'une capacité sociale suffisante pour lui permettre de mesurer ses possibilités de résolution à l'aune de celles des autres agents: la fonction de contrôle peut ainsi être assurée sans recours obligé à un expert singularisé par son autorité sur les autres agents du système.

(1) Cette expression est empruntée à Ferber [FER 88].

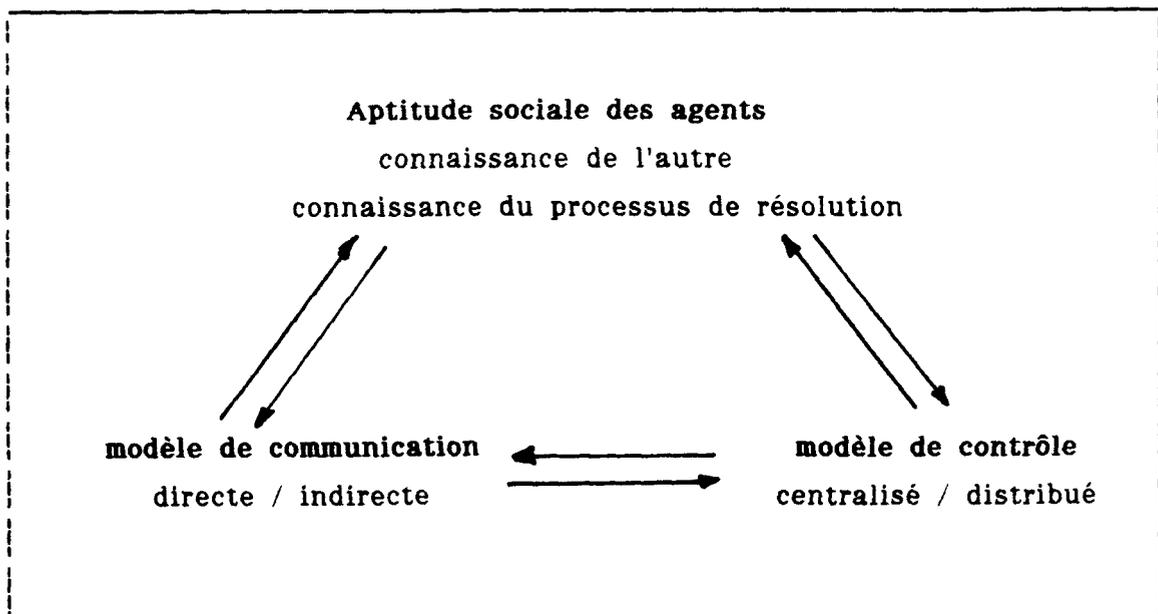
A l'opposé le contrôle parfaitement centralisé implique qu'un expert monopolise toute la connaissance sur la coopération: il en tire une naturelle autorité sur les autres experts du système dont il a le contrôle et qui peuvent être dénués de toute aptitude sociale.

4) Maturité sociale des agents et modèle de communication.

Dans le cas d'un contrôle centralisé la communication sera pour partie verticale et traduira des rapports d'autorité alors qu'un contrôle distribué reposant sur une capacité sociale suffisante des agents, se traduira par une communication horizontale et consensuelle. Dans ce dernier cas, la connaissance de l'autre intégrée aux agents autorisera la mise en oeuvre d'un modèle de communication directe.

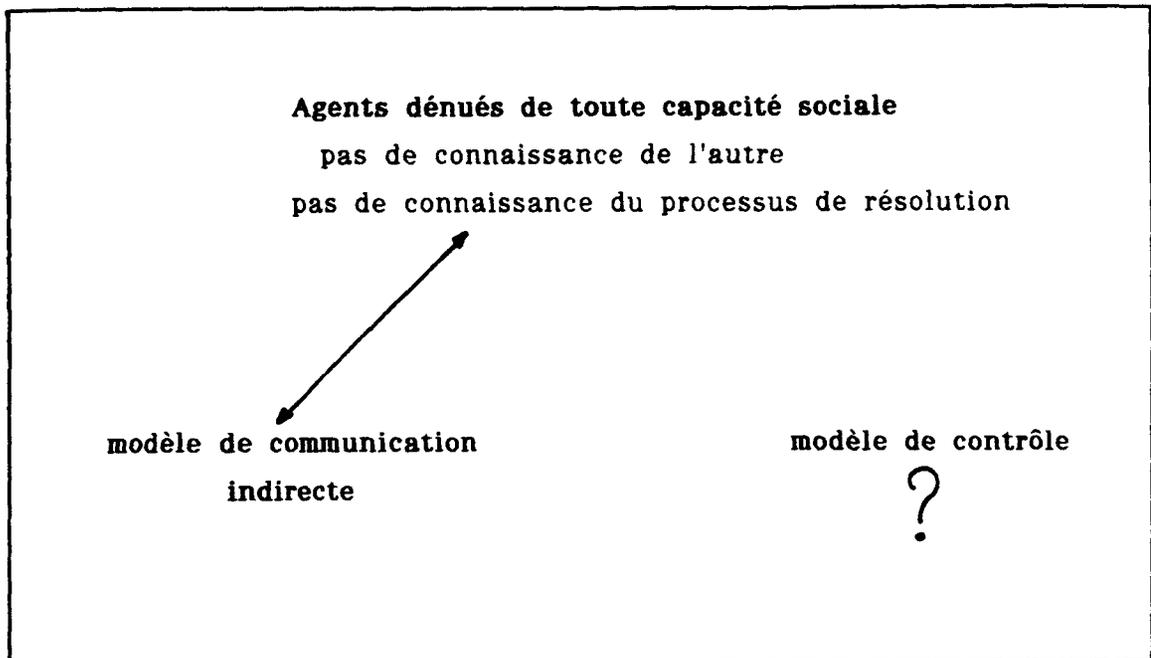
En résumé:

L'élaboration d'une solution cohérente au problème du contrôle tel qu'il se pose dans un système multi-agents nous semble supposer des choix compatibles sur trois aspects interdépendants d'une architecture de type I.A.D.: le modèle de communication (directe/indirecte), l'aptitude sociale des agents (au sens précédemment défini), le modèle de contrôle (contrôle distribué ou non).



possible d'intégrer aux agents une capacité sociale suffisante, rendue nécessaire par les choix faits en ce qui concerne les modèles de communication et de contrôle: des propositions en vue d'une telle intégration feront l'objet du paragraphe II.2.2.

- Le tableau noir.



Nous montrerons dans la section II.3 que la métaphore du tableau noir fondée sur une société d'agents dénués de toute capacité sociale et communiquant de façon exclusivement indirecte, appelle nécessairement un contrôle de type centralisé ou hiérarchique dont une représentation à la fois claire et efficace est impossible à obtenir dans le strict respect des principes du modèle de base. Nous montrerons qu'il en résulte un défaut d'uniformité des architectures à base de tableau noir préjudiciable à la bonne représentation des connaissances de contrôle. Le paragraphe II.3.2 sera consacré à la présentation d'extensions au modèle du tableau noir permettant de lever cet obstacle.

- les langages d'acteurs.

Les langages d'acteurs constituent un thème de recherche important au M.I.T. depuis 1973. Dans un des premiers travaux sur les acteurs [HEW 77], Hewitt propose de substituer à la métaphore

classique de l'I.A. telle que formulée par Newell (1), la métaphore de la société d'experts:

"We present an approach to modelling intelligence in terms of a society of communicating knowledge-based problem-solving experts.(...) We are investigating the nature of the communication mechanisms needed for effective problem-solving by a society of experts and the conventions of civilized discourse that make this possible. In this way we hope eventually to develop a framework adequate for the discussion of the central issues of problem-solving involving parallel versus serial processing and centralisation versus decentralisation for the control and information storage." [HEW 77].

Hewitt propose de concevoir le contrôle, non plus comme le résultat des choix successifs d'un agent unique, mais plutôt comme un modèle de transmission de messages entre un ensemble d'agents appelés acteurs. Il suggère par ailleurs (notamment dans [KOR 81]) d'adopter le modèle de la communauté scientifique comme paradigme de résolution de problème: un système doit simuler la façon dont les scientifiques construisent, se communiquent, testent et révisent leurs théories. Il prolonge ainsi la proposition antérieurement faite par Lenat [LEN 75], celle du "committee of experts", à partir de laquelle avait été élaborée le prototype PUP-6 qui n'avait cependant quant à lui pas connu de suites.

Le modèle d'acteurs ([AGH 86, 87], [LIE 81a, 81b, 86, 87]) s'organise autour d'une seule entité, l'acteur. Celui-ci comprend deux parties:

son *script* qui définit ses comportements possibles lors de la réception d'un message.

une liste de ses *accointances* qui définit les acteurs du système qui lui sont connus.

(1) *"The problem solver should be a single personality, wandering over a goal net much as an explorer wanders over a countryside, having a single context and taking it with him whenever he goes."* [NEW 72].

Un système d'acteurs est organisé autour de deux principes:

Le traitement local: lors de la réception d'un message un acteur ne peut que transmettre des messages à ses accointances, créer de nouveaux acteurs ou changer son état interne (*serialized actor*).

La transmission de messages avec continuation: quand un acteur envoie un message, il précise à quel acteur la réponse de ce message doit être envoyée.

Les langages d'acteurs ETHER, PLASMA, ACT1, ACT2, ACT3 traduisent les résultats de recherches en vue de réaliser des systèmes permettant l'expérimentation d'une programmation fondée sur le modèle d'acteurs. Cependant, à notre connaissance, ces langages n'ont jusqu'à présent pas conduit au développement d'applications sérieuses.

Comme le constate Ferber [FER 88]:

"A l'inverse des techniques d'interaction par partage d'information, qui supposent une structure commune, les systèmes multi-agents fondés sur la communication par messages relèvent d'une distribution totale à la fois des connaissances, des résultats partiels et des méthodes pour aboutir à un résultat... Cependant, alors que les systèmes de tableau noir fleurissent, il existe peu de systèmes fondés totalement sur les acteurs."

Les réalisations actuelles semblent ainsi davantage relever de la conception de langages que de la conception de systèmes de résolution de problèmes à proprement parler.

Quelle en est la raison?

Un système de résolution reposant sur le modèle d'acteurs s'appuie sur un modèle de communication directe (la transmission de messages avec continuation), et un modèle de contrôle parfaitement distribué. Dans un tel cadre, la dichotomie micro/macro précédemment évoquée est très affirmée de telle sorte que le conflit latent connaissances et actions locales/cohérence globale précédemment évoqué s'y pose avec une acuité toute particulière.

Comment garantir en effet qu'un comportement collectif cohérent vis à vis du problème à résoudre pourra résulter d'actions et de décisions individuelles alors même que dans un système à base d'acteurs n'existe aucune information globale concernant l'état du système à laquelle pourraient avoir accès les acteurs. C'est cette notion même d'état global (le niveau macro) qui se trouve exclue et n'a pas de représentation possible dans le cadre même du système: le niveau macro n'a pas d'existence propre, sinon sous la forme implicite d'un résultat global extérieurement attendu.

"Actors are a local model of computation. There is no such thing as "action at a distance" nor there is any "global state" of all actors in the universe. Actors interact on a purely local way by sending messages to one another." [HEW 77]

Ainsi, si les langages d'acteurs autorisent une flexibilité maximale en ce qui concerne les interactions possibles entre agents en même temps qu'ils présentent une solution élégante aux problèmes du parallélisme, ils n'offrent en revanche aucune esquisse de solution au problème du contrôle tel qu'il a été précédemment posé et qui pourrait, dans le cadre des langages d'acteurs, être reformulé de la façon suivante:

Quelles méthodes est-il possible d'intégrer au script des acteurs en vue d'en garantir un comportement collectif cohérent?

Ainsi l'utilisation des langages d'acteurs en vue de l'élaboration de systèmes de résolution distribuée de problèmes est-elle limitée par un obstacle analogue à celui rencontré par le modèle du réseau de contrats dont l'étude critique fera l'objet de la section suivante.

II.2 COMMUNICATION DIRECTE & CONTROLE DISTRIBUE.

II.2.1 LE MODELE DU RESEAU DE CONTRATS.

II.2.1.1 LE PRINCIPE.

L'objectif du modèle de réseau de contrats est de fournir un modèle du transfert de contrôle dans un système distribué en s'appuyant sur la métaphore de la négociation entre agents intelligents autonomes.

L'idée de départ est que l'existence de protocoles de communication à la fois fiables et efficaces n'est qu'un pré-requis en vue de la réalisation de modèles de résolution distribuée de problèmes. De la même façon que la communication entre un groupe d'entités suppose de soigneusement définir un protocole de communication, la résolution distribuée d'un problème par un groupe d'entités suppose de définir ce que Smith et Davis appellent un protocole de résolution de problème.

En d'autres termes, la coopération entre les agents ne peut être acquise en se contentant d'indiquer comment les noeuds vont communiquer, encore faut-il spécifier ce qu'il vont se dire grâce au médium de communication ainsi pré-établi.

"Traditional communication protocols form a low-level base for problem-solving communication. They enable reliable transmission and efficient transmission of bit streams between nodes, but do not consider the semantics of the information being passed. A high-level protocol assigns interpretations to the bit streams. It offers a structure that assist the system designer in deciding what the nodes should say to each other, rather than how to say it." [SMI 80].

L'élément central de l'approche de Smith et Davis en vue de la définition d'un tel protocole de résolution de problème est la négociation. Par négociation il faut entendre la discussion par laquelle les parties intéressées échangent de l'information et parviennent à un accord.

Cette négociation a pour objet de résoudre ce que Smith et Davis appellent le problème de connexion (*connection problem*): l'affectation aux agents solveurs des tâches résultant de la décomposition du problème initial. L'interaction inter-agents est donc formalisée sous la forme de la recherche d'un accord entre un noeud supportant une tâche à exécuter et un noeud susceptible d'exécuter cette tâche.

II.2.1.2 IMPLEMENTATION.

1) CONTEXTE.

Le contexte d'implémentation est décrit comme suit:

"We assume that the hardware is a network of loosely coupled, asynchronous nodes. Each node has a local memory; no memory is shared by all nodes. Each node typically contains several distinct KSs. There is no central control; each node makes its own choices about tasks to work on. The nodes are interconnected so that every node can communicate with every other by sending messages,

perhaps over a broadcast channel. We also assume the existence of a low-level protocol to effect communication of bit streams between nodes." [DAV 83].

2) DEFINITIONS .

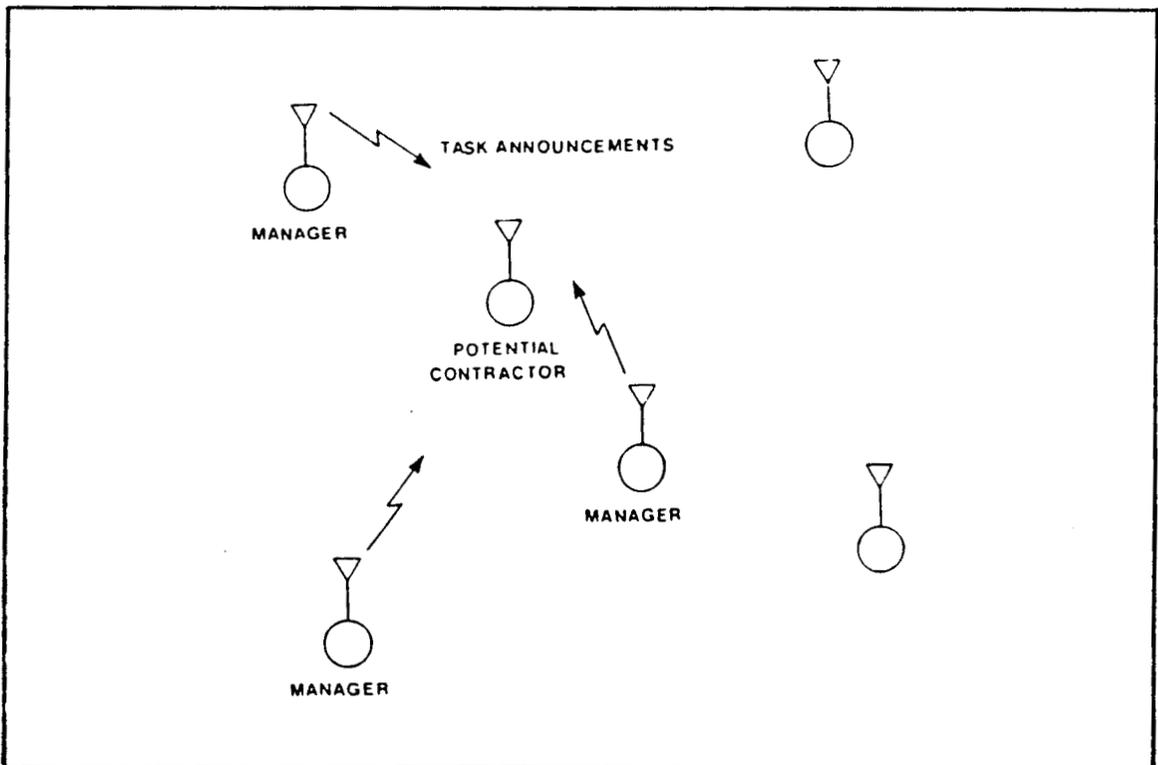
- Un réseau de contrats est une collection de noeuds tels que décrits ci-dessus.
- Manager et contractant sont les deux rôles susceptibles d'être endossés par les noeuds du réseau.
- Le manager a la responsabilité de superviser l'exécution d'une tâche et d'en traiter les résultats à l'issue de son exécution.
- Un contractant a la responsabilité de l'exécution effective de la tâche.

Les noeuds ne sont pas a priori désignés comme manager ou contractant: il s'agit de rôles que les noeuds choisissent dynamiquement d'endosser en fonction de l'évolution du processus de résolution du problème.

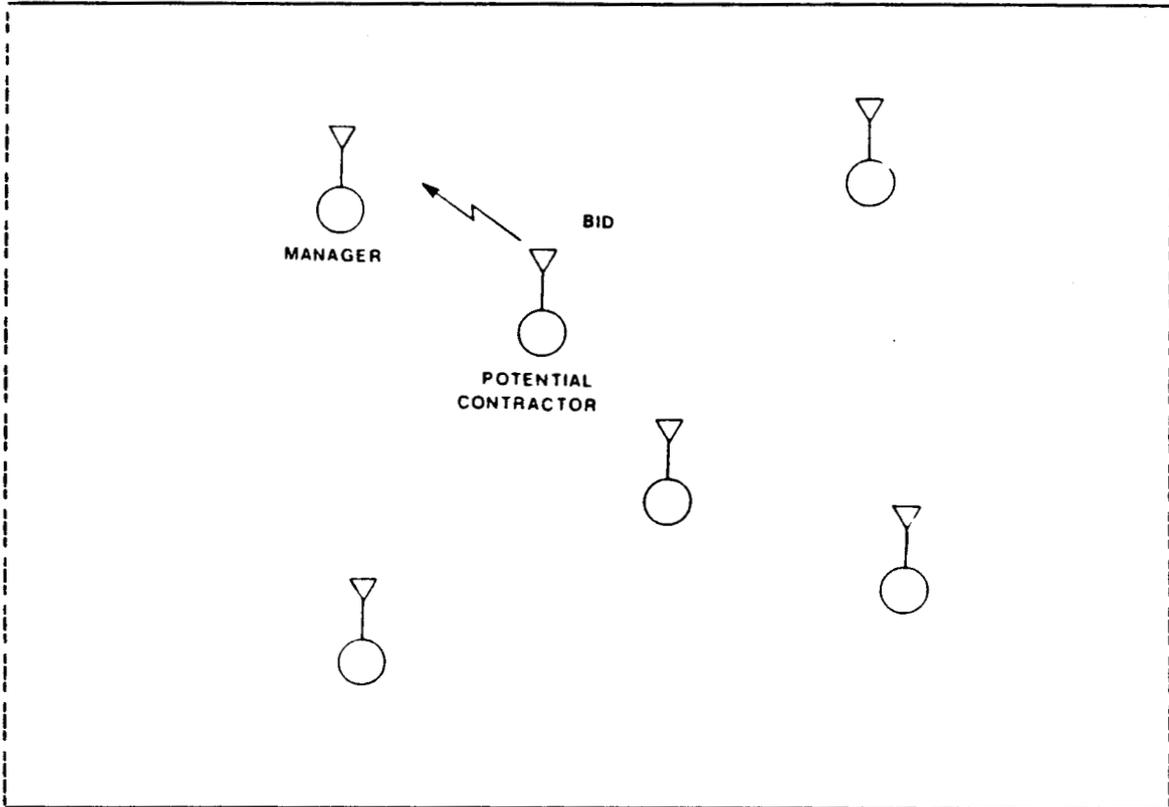
La concrétisation du modèle de réseau de contrats suppose de définir les divers types de messages susceptibles d'être échangés par les noeuds du système, ainsi que leur contenu et format: les messages ainsi définis constitueront le langage commun aux différents noeuds du réseau.

3) LE LANGAGE INTER-NOEUDS : TYPE, CONTENU ET FORMAT DES MESSAGES .

Le processus de négociation est initialisé par la génération d'une nouvelle tâche. Ceci advient lorsqu'un résolveur décompose un problème en sous-problèmes, ou lorsqu'un résolveur n'a pas la connaissance requise pour traiter un problème. Le noeud qui a généré la tâche avertit les autres noeuds de son existence par un message d'annonce de tâche (*task announcement*). Il a dès lors le rôle de manager de cette tâche durant toute sa durée de vie.

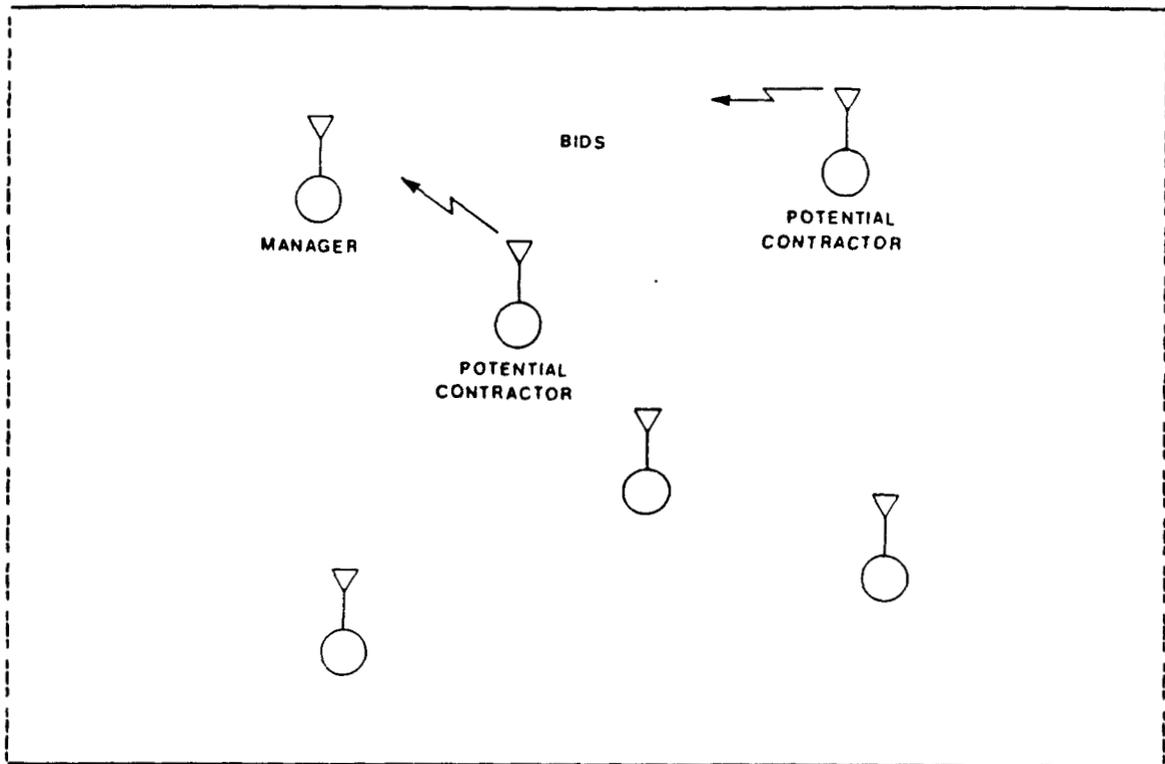


Les noeuds du réseau sont à l'écoute de tels messages d'annonce de tâche.

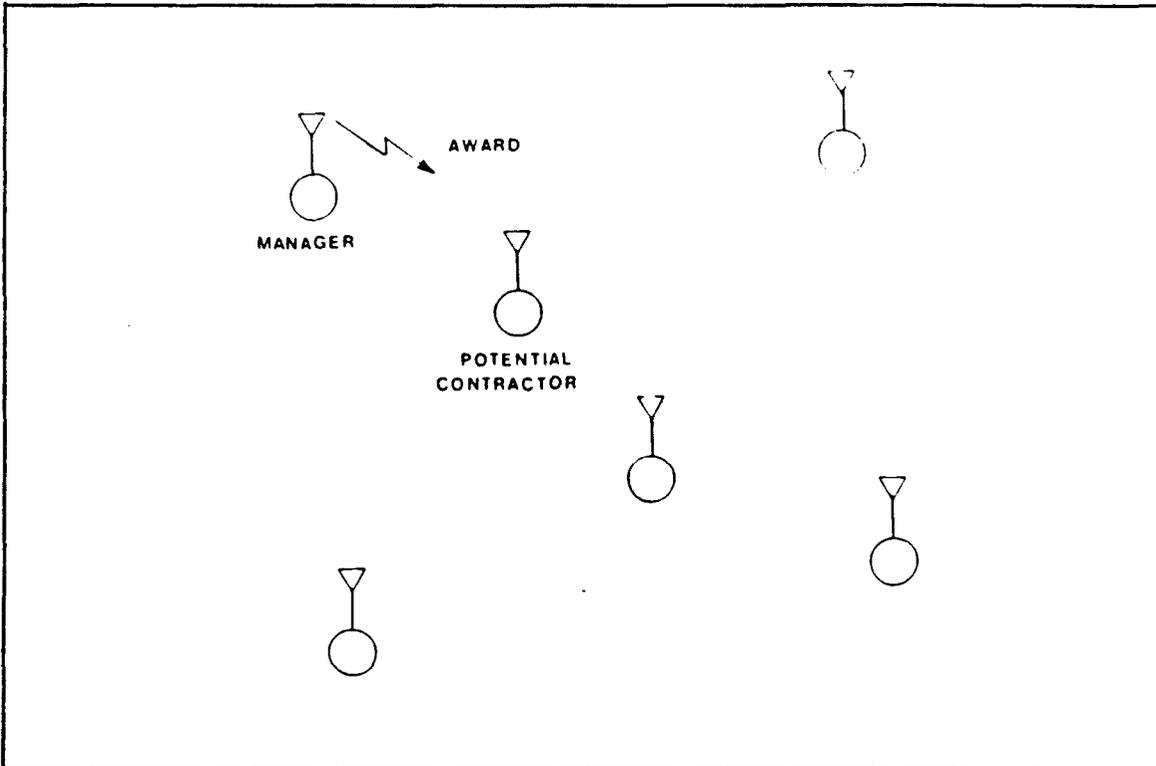


Les noeuds évaluent en fonction de leur point de vue propre l'intérêt qu'ils peuvent avoir pour les tâches proposées compte tenu des ressources dont ils disposent: pour ce faire les noeuds utilisent les procédures d'évaluation de tâches dont ils disposent.

Lorsqu'une tâche se révèle offrir un intérêt suffisant, le noeud fait une proposition.



Le message d'offre (*bid message*) qu'il envoie à cette occasion indique les capacités de l'offreur en ce qui concerne le traitement de la tâche proposée. Le manager de la tâche peut ainsi recevoir plusieurs messages d'offre. Il les apprécie à l'aide de procédures d'évaluation des messages d'offre (*bid evaluation procedure*) qui lui permettent de sélectionner l'offre à ses yeux la plus intéressante. Ce choix est communiqué au noeud élu par un message d'accord (*award message*).



Le noeud sélectionné prend la responsabilité de l'exécution de la tâche vis à vis de laquelle il assume donc le rôle de contractant. Il peut à son tour décomposer cette tâche et nouer des contrats secondaires en vue de résoudre les sous-tâches...

A l'issue de l'exécution (partielle ou complète) de la tâche le contractant envoie un rapport au manager contenant notamment une description des résultats de l'exécution de la tâche. Le manager peut alors mettre fin à la relation qui le lie au contractant en lui délivrant un message de fin de contrat.

Tout message est composé d'un certain nombre de champs spécifiant la nature de l'information véhiculée par le message compte tenu de son type. Un message d'annonce de tâche a, par exemple, quatre champs principaux:

- Le champ critères d'éligibilité est une liste décrivant les caractéristiques attendues d'un noeud pour qu'il puisse souscrire un contrat.
- Un descripteur de la tâche proposé.

- Un descripteur du contrat qui permet au manager de préciser les informations qu'il considère comme importantes et sur la base desquelles il comparera les propositions qui lui seront faites.
- Une date limite jusqu'à laquelle les propositions seront prises en considération.

Le langage commun inter-noeuds peut ainsi être élaboré à partir d'une représentation simple de type:

<Objet> <Attribut> <Valeur>

4) APPLICATIONS .

a) Le système DSS.

La réalisation d'un système distribué (géographiquement) de capteurs en vue de la surveillance du trafic aérien a constitué le contexte initial d'élaboration du modèle de réseau de contrats. Le système DSS (*Distributed Sensing System*) [DAV 78] a pour objet de détecter, suivre et classer des véhicules de façon à tenir à jour un tableau de bord du trafic dans la zone sous surveillance. Son élaboration exige l'interprétation de signaux provenant d'un ensemble de capteurs.

Les capteurs sont inégalement répartis dans les différentes régions constitutives de la zone sous surveillance et leurs zones de détection peuvent se recouvrir. Par ailleurs les capteurs sont de différents types dont les capacités sont inégales. Enfin seuls certains des noeuds du réseau sont dotés de capacité de calcul et ne se trouvent pas nécessairement à proximité des noeuds sources des données qu'ils traitent.

L'une des tâches faisant l'objet de contrat dans le système est par exemple celle qui consiste à rassembler puis traiter des données en vue d'extraire les caractéristiques des signaux perçus. Un

manager pour cette tâche est un noeud dénué de capteur mais pourvu de capacités de calcul, tandis qu'un contractant est un noeud faiblement doté en capacités de traitement et à la recherche d'un noeud susceptible d'interpréter les signaux qu'il reçoit. Du point de vue du manager, le meilleur ensemble de contractants est celui qui présente la meilleure distribution spatiale compte tenu de la zone qu'il surveille. Du point de vue du contractant, les meilleurs managers sont ceux dont la proximité est suffisante de façon à minimiser les problèmes de communication de données...

b) Le système YAMS.

YAMS (*Yet Another Manufacturing System*) [PAR 87] est un système de gestion de production dans lequel le processus d'affectation des tâches est basé sur la négociation. Il est chargé de la gestion de production de plusieurs sites industriels géographiquement distants les uns des autres. De nombreuses opérations au niveau de l'atelier doivent être gérées en temps réel si bien que chaque atelier, éventuellement chaque machine, dispose de ses propres capacités de traitement. Le système ayant à charge de coordonner les actions entreprises au niveau de chaque machine ou de chaque atelier, ces capacités de traitements doivent pouvoir communiquer. Le problème de la gestion de production peut être conçu comme une recherche dans un espace dont les dimensions incluent les équipements disponibles sur un site, les divers produits à sortir, les ressources disponibles en termes de temps, stock et capacités de stockage...

YAMS repose sur une représentation de l'entreprise sous forme d'un arbre la décomposant en unités fonctionnelles de production. Chaque noeud résultant de cette décomposition correspond à un noeud du réseau de contrats. Cette hiérarchie est représentative d'une décomposition et non d'une structure de contrôle: chaque noeud est un composant du noeud père et est à son tour décomposable en ses noeuds fils. Chaque noeud, qui peut communiquer avec ses père, frères et fils, dispose d'une liste des plans de fabrication correspondant aux procédés qu'il sait réaliser. Ces plans peuvent faire référence à d'autres procédés qui sont inconnus du noeud supportant la

représentation du procédé principal. Les noeuds ont recours à la négociation pour trouver d'autres noeuds susceptibles de prendre en charges les procédés qui leur inconnus.

II . 2 . 1 . 3 INTERETS DU MODELE DU RESEAU DE CONTRATS .

1) "SELF-ORGANIZATION" ET "OPPORTUNISTIC CONNEXION" .

Le modèle du réseau de contrats présente l'avantage de permettre une auto-réorganisation du système en fonction des modifications de l'environnement. Cette propriété résulte de ce que les noeuds ne sont pas a priori désignés comme manager ou contractant: il s'agit de rôle que chaque noeud peut dynamiquement choisir d'adopter en fonction de l'évolution de son contexte d'activité. Il en résulte que les noeuds ne sont pas rigidement liés à une hiérarchie expressive d'un contrôle global de l'activité du système. Le réseau de relations existant à un instant donné est susceptible de se reconfigurer dynamiquement en fonction de l'évolution courante de l'activité du système. Le modèle du réseau de contrats est ainsi bien adapté aux problèmes dont la décomposition ne peut être connue a priori ou dont la décomposition n'est pas stable dans le temps.

Les applications auxquelles a donné lieu ce modèle permettent d'illustrer l'intérêt de cette propriété.

Dans l'application DSS par exemple, le réseau de relations liant les noeuds responsables de la surveillance d'une zone aux noeuds capteurs disponibles dans cette zone se reconfigure dynamiquement en fonction de l'évolution des véhicules dans la zone considérée ou en fonction de l'éventuelle défaillance de certains noeuds capteurs.

Dans l'application YAMS, supposons qu'un manager cherchant à déléguer une opération qui lui est inconnue, reçoive une proposition de deux noeuds différents, la première apparaissant plus favorable

parce que le contractant potentiel qui lui correspond se trouve être déjà engagé dans le type d'opérations requis. Le manager souscrit donc un contrat avec le premier noeud contractant. Si ultérieurement celui-ci se révèle défaillant (pour cause de panne ou de rupture de stock par exemple), le second noeud précédemment délaissé parvient maintenant à souscrire le contrat pour lequel il avait émis une proposition initialement délaissée.

Dans l'un et l'autre exemple, de tels changements peuvent intervenir sans que le concepteur du système ait eu à les prévoir et à en inscrire a priori la possibilité dans le code du système. Le modèle du réseau de contrat confère à l'application résultante une aptitude à s'adapter par elle-même aux changements qui affectent les données du problème ou le contexte dans lequel il se pose.

2) CONTEXTE D'INVOCATION D'UNE CONNAISSANCE.

La négociation conduisant à l'affectation des tâches présente les trois caractéristiques suivantes:

- elle se réalise au travers d'un échange bilatéral d'informations.
- chaque partie prenante à la négociation procède à une évaluation de cette information en fonction de son point de vue propre.
- l'accord final obtenu résulte d'une sélection mutuelle.

II.2.2. LES MODELES B.N.B. :

"to Bid or Not to Bid."

II.2.2.1 LES LIMITES DU MODELE DU RESEAU DE CONTRATS .

Il y a plus qu'une nuance à établir entre:

- permettre à chaque agent d'évaluer les informations échangées en fonction de sa perspective propre, ce qui apporte les avantages qui viennent d'être mentionnés.
- enfermer chaque agent sur cette seule perspective personnelle, qui constitue un inconvénient majeur.

Or le modèle du réseau de contrats tombe dans ce dernier travers: dans un tel système n'existent plus que des points de vue locaux.

1) CONFLIT MICRO/MACRO .

Des décisions localement souhaitables ne conduisent pas nécessairement à un comportement global lui-même souhaitable: des décisions souhaitables au plan local peuvent en effet avoir des effets pervers sur le plan global.

La théorie des jeux et son très classique dilemme du prisonnier nous fournira un exemple simple d'une telle éventuelle "perversité" globale d'actions localement souhaitables.

La littérature sur la théorie des jeux a adopté, avec la matrice des gains (*payoff matrix*), une notation simple permettant de formaliser l'interaction en univers multi-agents.

	A	B
A	3/1	2
B	2/5	0/1

Cette notation signifie que le premier joueur choisit un mouvement correspondant à l'une des deux lignes, et le second un mouvement correspondant à l'une des colonnes.

- Un nombre unique à l'intersection d'une ligne et d'une colonne signifie un gain identique pour les deux joueurs: si le joueur 1 (J1) choisit A et le joueur 2 (J2) B, tous deux gagnent 2.
- 3/1 dans l'exemple ci-dessus signifie que si J1 et J2 choisissent A, J1 gagne 3 tandis que J2 gagne 1.

Le dilemme du prisonnier est caractérisé par une matrice de gains du type suivant:

	S	T
S	3	0/5
T	5/0	1

Une telle matrice est susceptible d'être illustrée par le scénario suivant. Deux prisonniers viennent d'être appréhendés par la police. Chacun d'eux est interrogé individuellement et incité à trahir son complice (choix T). Mais il vaudrait bien mieux pour l'un et l'autre garder le silence (choix S) plutôt que de parler l'un et l'autre et mutuellement se dénoncer.

Le dilemme tient au fait que chaque joueur, s'il fait abstraction des choix possibles de l'autre joueur (c.a.d. raisonne en fonction de sa seule perspective propre), a tout intérêt à trahir: T est pour l'un et l'autre joueur le choix localement optimal. Cependant, si l'un et l'autre trahissent, il en résultera pour tous deux un gain

inférieur à celui qui aurait pu être obtenu s'ils étaient restés solidaires. Cette incitation (perverse) à la trahison constitue ainsi la marque distinctive du dilemme du prisonnier et illustre le caractère éventuellement désastreux d'actions pourtant localement optimales.

Une situation telle que celle illustrée par le dilemme du prisonnier est caractérisée par l'interdépendance des choix individuels: chaque agent ne peut procéder à un choix effectivement optimal (y compris pour lui-même et pas seulement au niveau macro) en méconnaissant les choix offerts aux autres agents ainsi que les conséquences de ses propres choix sur ceux des autres agents.

2) RESEAU DE CONTRATS ET CONFLIT MICRO/MACRO .

Le modèle du réseau de contrats est incapable de traiter les problèmes s'inscrivant dans un tel contexte d'interdépendance des choix individuels.

La négociation telle qu'elle y est décrite n'est en effet, pour reprendre l'expression de Smith et Davis, qu'un **protocole de résolution de problème au seul niveau micro**. Elle permet uniquement à chaque agent de connaître les différentes possibilités qui lui sont offertes et de choisir celle d'entre elles qui est la meilleure sur la base de son intérêt propre. Dans le cas précédent, J1 "sait" ainsi qu'il gagne 3 s'il choisit S et 5 s'il choisit T: il choisira donc T. Dans ces conditions (c.a.d. J1 ayant choisi T), J2 pourra "savoir" qu'il gagnera 0 s'il choisit S et 1 s'il choisit T: il choisira donc lui aussi T conduisant ainsi à un résultat sous-optimal autant au plan local qu'au plan global.

En revanche aucun protocole de résolution de problème n'est prévu au niveau macro: aucun mécanisme n'existe en effet qui permettrait un raisonnement sur les effets macro des actions localement décidées. Le problème du contrôle en système d'I.A.D., au sens défini dans la précédente section, n'y est donc pas résolu et, en

l'état, l'utilisation de ce modèle doit donc être confinée aux problèmes aisément décomposables en sous-problèmes indépendants.

Smith et Davis constatent eux-mêmes cette défaillance à partir de l'exemple suivant plus proche de leur problématique ("*connexion problem*").

	A	B
X	0,9	0,8
Y	0,8	0,2

A et B sont deux managers proposant l'un et l'autre une tâche. Ces tâches sont l'une et l'autre susceptibles d'être prises en charge par les agents X et Y. On suppose enfin que les nombres situés sur les intersections ligne-colonne sont indicateurs de l'intérêt du contrat correspondant: efficacité présumée du service pour la tâche si l'on se place du point de vue du manager (A et B) ou importance de la tâche proposée si l'on se place du point de vue du prestataire de service (X et Y). D'un point de vue strictement local A et B ont tous deux intérêt à jeter leur dévolu sur X, tandis que la collectivité aurait elle intérêt à affecter X à B et Y à A. Malheureusement une telle manifestation de la collectivité en tant que telle, est impossible dans le cadre du modèle puisque celle-ci n'y est pas représentée et, par ailleurs, l'affectation autoritaire à laquelle elle conduirait traduirait évidemment le passage d'un contrôle distribué à un contrôle centralisé.

COMMENT OBTENIR UNE PRISE EN COMPTE DE L'INTERET COLLECTIF SANS RENONCER AU CARACTERE LOCAL DE LA PRISE DE DECISION ?

Comme le notent eux-mêmes Smith et Davis:

"We do not yet fully understand the more general problem of achieving globally coherent behaviour in a system with distributed control... We require distributed control in order to effect loose

coupling, yet coherent behaviour usually requires a global perspective." [DAV 83]

La réponse à cette question passe évidemment par la **"socialisation" des agents du système**. Comme les exemples précédents le montrent, **les principes de communication directe et de distribution du contrôle, sur lesquels est fondé le modèle du réseau de contrat, ne sauraient s'accommoder de ce que les agents soient enfermés sur leur seule perspective propre et donc de ce fait dénués de toute capacité sociale**. L'argument n'est pas ici celui du réalisme. Il est d'ordre purement fonctionnel: une telle société d'agents ne peut "fonctionner".

Il faut donc TROUVER ET IMPLEMENTER DES MECANISMES QUI, TOUT EN DEMEURANT COMPATIBLES AVEC LE CARACTERE LOCAL DES DECISIONS ET ACTIONS, PERMETTRONT D'OUVRIR LES AGENTS AU SOUCI DE L'INTERET COLLECTIF.

Parunak, tout en notant la difficulté de mise en oeuvre de la solution qu'il propose, remarque cette nécessité d'une meilleure information des agents: il va jusqu'à proposer qu'à cette fin les agents "écoutent aux portes" (*eavesdrop*) sur le réseau !:

"In such a system, nodes can reduce their ignorance of one another by eavesdropping on the net. By monitoring bids, a node can learn who its are for various tasks classes, and by monitoring awards, it can track their loading. The possible politics of such a system quickly become fascinating, and very complex. One can imagine two competing nodes, each waiting until the last possible moment to submit its bid in the hope of peeking at the other's bid first, together jeopardizing the timely performance of the entire system." [PAR 87]

3) COMMENT CONSTITUER LES AGENTS INFORMATIQUES EN UN GROUPE ORGANISE ?

a) Conception administrative et rationalité collective externe à l'agent: l'appartenance des agents à une organisation.

De nombreux chercheurs en I.A.D. ont cherché dans la notion d'organisation le moyen d'obtenir une telle socialisation et, à cette fin, se sont tournés vers la sociologie, les sciences de l'organisation et les sciences économiques.

"We can envision greater connection with economic approaches to coherent behaviour, resource allocation, and task distribution than has been exploited in contemporary DAI research." [GAS 88]

Dans la perspective de la "socialisation" des agents en vue d'obtenir une meilleure cohérence de leur comportement collectif, la notion d'organisation est séduisante puisqu'elle peut permettre d'imposer, sur cette "foule" d'agents, un système de contraintes et d'attentes concernant leur comportements possibles.

Les agents certes décident et agissent, conformément au modèle de contrôle distribué, mais dans les limites du rôle qui leur a été confié. La structure organisationnelle adoptée constitue une représentation implicite de la connaissance de contrôle relative aux formes d'interaction possible entre les résolveurs et les rôles qui sont offerts à ceux-ci.

Le fait qu'aucune structure organisationnelle ne soit universellement adaptée à tout type de situation fait l'objet d'un accord unanime: les chercheurs se réfèrent alors aux travaux des économistes (J. Galbraith [GAL 73, 77] et H.A. Simon notamment) en vue d'établir les qualités caractéristiques des divers types d'organisation. Fox, dans un article resté célèbre, souvent cité et commenté par la communauté I.A.D. ([FOX 81]), s'efforce ainsi d'établir une taxonomie des organisations (hétérarchie/hierarchie) en relation

avec les caractéristiques du domaine d'application abordé (complexité/incertitude):

"(...) complexity and uncertainty are two important factors in deciding how to structure an organization. It appears that complexity and uncertainty are two opposing forces; complexity forcing a distribution of task ultimately resulting in a heterarchical structure; uncertainty pushing in the opposite direction, vertically integrating tasks into a more hierarchical structure."
[FOX 81]

Ces travaux ont impulsé d'autres recherches ultérieures dont l'apport essentiel se limite à l'élaboration et la mesure de critères d'efficacité des divers types d'organisation envisageable. On citera notamment:

- R. Wesson et al. [WES 81] qui étudient les performances relatives de deux types d'organisation d'experts coopérants (*two-level hierarchical organization vs "anarchic committee"*) dans le cadre d'une application de reconnaissance de situation reposant sur un réseau de capteurs.
- R. Steeb et al. ([STE 81], [CAM 83]) qui présentent et comparent sur le plan de l'efficacité différents modes d'organisation appliquées à un problème de contrôle de trafic aérien.
- T. Malone [MAL 87] qui se réfère explicitement aux études socio-économiques et de gestion ([WIL 81]) réalisées en vue de mesurer et comparer les coûts de production et de coordination des diverses structures de coordination (*product hierarchy/functional hierarchy/centralized market/decentralized market*) existant effectivement dans le domaine des organisations économiques réelles: *"(...) how coordination actually occurs in real organizations and markets ?"*.

b) Conception constitutionnelle et rationalité collective interne à l'agent: l'acceptation d'un ensemble de règles communes.

Ces travaux qui viennent d'être évoqués ont en commun de concevoir l'organisation des agents qui doit conduire à la cohérence de leur comportement comme une structure qui leur est extérieurement définie et imposée.

La voie que nous proposons vise à obtenir ce caractère organisé d'un groupe d'agents comme résultat de l'acceptation et de l'application locale par chaque agent d'un certain nombre de "règles du jeu" communes.

Dans cette dernière perspective, le caractère organisé de la communauté d'agents n'est plus défini en tant que tel au travers d'une structure rigide extérieurement imposée aux agents. Il est un résultat: si, indépendamment de toute organisation (au sens de structure), les agents sont cependant effectivement organisés (absence de conflits et comportement global cohérent), ceci est une **conséquence** de ce qu'ils respectent tous un même ensemble de règles du jeu. C'est ce respect par tous d'un ensemble de règles de comportement partagées ou connues de tous qui transforme une simple collection ou juxtaposition d'agents en un groupe (organisé).

Cette forme de représentation du niveau macro présente l'avantage important d'être pleinement compatible avec une représentation distribuée: elle n'impose pas de représenter, en plus des agents qui supportent le niveau micro et traduisent le caractère distribué du modèle, "autre chose" qui, étant destiné à supporter le niveau macro, tend inévitablement à prendre la forme d'une information globale (voire centralisée) et contribue ainsi à écorner l'uniformité dans le modèle du principe de distribution pourtant initialement visé. Cette conception de l'organisation comme un ensemble commun de règles de comportement localement interprétées autorise une représentation locale du niveau global ou, en d'autres termes, **l'INTEGRATION DU NIVEAU MACRO AU NIVEAU MICRO.**

La nature de ces règles dépendra bien sûr du problème à traiter: elles définissent la finalité et l'aptitude collective des agents qu'elles constituent en groupe.

Nous donnerons deux exemples de modèle reposant sur ce principe et nous montrerons qu'ils sont susceptibles de permettre de résoudre de façon globalement cohérente le "*connexion problem*" pour la solution duquel avait été élaboré le modèle du réseau de contrats.

- le premier apporte une réponse directe à l'exemple-paradoxe présenté par Smith et Davis.
- le second esquisse une possible généralisation des résultats issus du premier modèle en appliquant les principes qui viennent d'être exposés à un problème de répartition différent du problème d'affectation suggéré par Smith et Davis.

II . 2 . 2 . 2 . PROBLEME D' AFFECTATION GLOBALEMENT COHERENTE :

LE MODELE B - N - B_1 .

1) PRINCIPE .

Comme il a été précédemment noté, les anomalies pouvant résulter de l'application de la métaphore du réseau de contrats et relevées par Smith et Davis résultent du fait que les règles du jeu sont telles que la recherche d'un optimum local par chaque noeud (conformément au modèle de type contrôle décentralisé) implique inévitablement (bien que cela ne soit pas nécessaire) un aveuglement complet de chaque agent vis à vis de toute information collective: existence et importance d'éventuelles autres tâches notamment.

Reprenons l'exemple de Smith et Davis:

	A	B
X	0,9	0,8
Y	0,8	0,2

A n'est acculé au comportement asocial consistant à monopoliser les services de X au détriment de la collectivité que dans la mesure où:

- on ne lui permet de n'avoir connaissance que du contrat qu'il souhaite faire souscrire à X
- on le met en situation de totalement ignorer que B a lui même une tâche à affecter pour laquelle X serait également efficace.

C'est parce qu'aucune information (de contrôle) n'est élaborée et transmise à A de façon à le sensibiliser au problème que connaît B et à le motiver à envisager les conséquences collectives de son comportement qu'on aboutit inéluctablement à la situation collectivement sous-optimale où A monopolise X.

Le problème est de faire en sorte qu'une telle information soit construite et accessible tout en restant dans le cadre d'un modèle de type contrôle distribué.

Afin de souscrire à cette dernière contrainte cette information doit donc:

- être construite localement.
- être intégrée au comportement local de chaque agent: les règles du jeu (pénalité, profit ...) doivent être telles que le

comportement rationnel de chaque agent cherchant à élaborer son optimum purement local contribue partiellement à l'élaboration de cette information et, en même temps, passe par sa prise en compte d'une façon, en quelque sorte, inconsciente.

A cet effet, filons davantage encore la métaphore imaginée par Smith et Davis, et supposons que les agents informatiques du système, à l'instar des agents économiques réels lorsqu'ils négocient un contrat, débattent du prix des services qu'ils achètent ou rendent.

Pour ce faire, nous supposerons que chaque agent:

- comme prestataire de service (X et Y dans l'exemple précédent), cède celui-ci à l'acheteur le plus offrant: dans ce but, il hausse son prix d'offre tant que plusieurs acheteurs (ou *managers* dans le jargon propre au réseau de contrats) restent en compétition pour l'achat du service qu'il propose.
- comme acheteur de service (A et B dans l'exemple précédent), fait "acquisition" du service présentant le meilleur "rapport qualité/prix".

Reprenons l'exemple précédent et supposons que les deux prix soient, à l'ouverture du marché, arbitrairement égaux à l'unité.

La préférence commune de A et B pour X conduira à la hausse du prix de ce dernier service. Cette hausse ne prendra fin que lorsque l'un des deux *managers*, A ou B, sera découragé de continuer à postuler sur X parce que le prix relatif de X (P_x/P_y) sera devenu supérieur à son efficacité relative (E_x/E_y). Dans le cas de l'exemple ci-dessus, ce *manager*, premier à être découragé de maintenir sa demande de X, sera A puisque l'avantage relatif qu'il y a pour A à choisir X plutôt que Y ($E_x/E_y = 0,9/0,8$) est plus faible que pour B ($E_x/E_y = 0,8/0,2$).

Notons E_{ij} l'efficacité du service j pour la tâche i:

$$E_{ax}/E_{ay} = 0,9/0,8 \quad \text{et} \quad E_{bx}/E_{by} = 0,8/0,2$$

La hausse du prix P_x amènera le prix relatif P_x/P_y à excéder le rapport E_{ax}/E_{ay} avant même d'avoir atteint le niveau du rapport E_{bx}/E_{by} .

Dans cette situation, où

$$P_x/P_y > E_{ax}/E_{ay} \iff E_{ax}/P_x < E_{ay}/P_y,$$

le *manager* A cessera de maintenir sa demande de X et reportera sa préférence sur Y, conformément à sa règle de comportement de *manager* qui lui commande d'obtenir le meilleur rapport qualité/prix. Dès lors, les services X et Y sont respectivement affectés aux tâches B et A. Chaque *manager* a donc atteint son objectif local consistant à trouver, pour la tâche qu'il supporte, un agent résolveur présentant le meilleur rapport qualité/prix, sans que soit pour autant incohérente la solution au *connexion problem*, lorsque celle-ci est considérée d'un point de vue global: les niveaux micro et macro se trouvent ainsi réconciliés.

Deux remarques.

(1) Il est à noter que les montants absolus des prix P_x et P_y n'ont ici aucun sens. Leur valeur initiale est d'ailleurs arbitraire et la variation de celle-ci ne modifierait que le niveau général des prix auquel aucune signification particulière ne doit être attachée. **Seuls les rapports de prix (prix relatifs ou structure des prix) ont une signification:** ainsi, dans l'exemple précédent, la hausse du prix relatif P_x/P_y par rapport à la situation initiale où il est égal à l'unité, est en relation avec l'utilité relative du service X pour la collectivité compte tenu des tâches dont celle-ci doit assurer l'exécution.

(2) Les procédures de décision mises en place dans l'exemple précédent sont fondées sur la différenciation des structures de préférence des agents: la relation qui associe aux agents leur structure de préférence doit donc être bijective, soit $\text{Det}(E_{ij}) \neq 0$. Dans le cas contraire, le problème est partiellement ou totalement (suivant le degré d'indifférence des agents)

indécidable, indépendamment du modèle de contrôle utilisé (centralisé/distribué) et l'affectation des services aux agents peut être partiellement ou totalement arbitraire.

2) Fondements économiques du modèle B.N.B.

a) Prix et réalisme du modèle.

L'un des éléments, ajouté au modèle de Smith et Davis et qui a permis de parvenir à une réconciliation des niveaux micro et macro, est la notion de prix. Le tort du modèle du réseau de contrat dans sa version initiale, est en effet de prendre comme modèle logique implicite celui du marché concurrentiel tout en le privant d'un élément décisif à son fonctionnement (comme modèle de résolution distribué): la notion de prix relatif. L'argument n'est cependant pas ici celui du manque de réalisme de ce modèle initial. C'est certes à juste titre qu'on peut se demander ce que peuvent donc bien négocier les agents solveurs de Smith et Davis dès lors qu'il leur faut bannir de leurs conversations toute discussion de prix. Mais là n'est pas le véritable problème. Bien que le prix fasse en effet référence à une notion issue du quotidien, le modèle B.N.B. n'est cependant pas davantage réaliste: aucun marché réel n'a jamais fonctionné à son image et aucun prix n'a jamais été généré suivant le canevas proposé par ce modèle. En revanche, il ne nous semble pas possible d'imaginer un modèle de résolution distribué manifestant un comportement global cohérent, sans que soient générés et entretenus dans le système, afin précisément d'en assurer la cohérence de comportement, des indicateurs d'une information de contrôle à la fois locale et globale:

- locale, parce que cette information est traitée localement, conformément au principe de distribution du modèle.
- globale, parce qu'il s'agit d'une information de contrôle permettant la cohérence d'ensemble du système.

Le fait que de tels indicateurs aient été ici appelés des prix n'a évidemment qu'un caractère parfaitement anecdotique.

b) Le prix comme support d'information de régulation.

Le principe qui sous-tend le modèle B.N.B., principe en vertu duquel l'agent est le support de représentation de la rationalité collective si bien que, à la poursuite d'un optimum local, il contribue à la réalisation d'un optimum global, trouve son inspiration dans certains courants ultra-libéraux de la théorie économique des XVIII et XIX^{èmes} siècles. Ces théories, soucieuses d'occulter la barbarie de la révolution industrielle accomplissant alors cruellement son oeuvre dans l'économie réelle, avaient pour tâche périlleuse de "pseudo-expliquer" l'économie pour ce qu'elle n'était de toute évidence pas. Aussi ces économistes furent-ils acculés à la nécessité d'inventer une économie formelle, certes bien loin des dures réalités quotidiennement vécues par certains, mais dont la fonction n'était de rendre compte de cette économie réelle qu'au sens de justifier (en théorie) la dure nécessité de quelques principes qui s'y trouvaient fort utilement appliqués: laisser faire, ne pas intervenir et tout en sera pour le mieux. C'est donc très naturellement que l'informaticien, aujourd'hui confronté à la nécessité de créer des sociétés multi-agents où, de l'application du credo libéral "laisser faire-laisser passer" (plus informatiquement appelé contrôle distribué), résultera une situation globalement cohérente, peut trouver dans ces "théories" une source d'inspiration précieuse. Citons trois fondements de ces théories afin d'en montrer toute l'utilité pour la création de modèles multi-agents à contrôle distribué.

- La croyance ultra-libérale des économistes classiques puis néo-classiques en l'existence d'une harmonie naturelle préétablie entre l'intérêt général et l'intérêt particulier: ainsi Adam Smith développa-t-il l'idée que les hommes, guidés par une "*main invisible*", étaient liés entre eux par les liens d'une solidarité spontanée et involontaire, si bien que chacun était tenu de ne chercher que son intérêt personnel de façon à assurer le bonheur de tous: "*Lorsqu'on travaille pour soi-même, on sert souvent la société plus efficacement que lorsqu'on travaille pour l'intérêt social.*" [SMI 43]. Ceci n'est finalement que l'énoncé du

l'énoncé du postulat de la possibilité d'un contrôle distribué en univers multi-agent: la réalisation des optimums locaux peut coïncider avec la réalisation d'un optimum global.

- Le marché de concurrence pure et parfaite est archétypal d'un système multi-agents à contrôle distribué.
- Dans un tel modèle (de concurrence pure et parfaite) le prix est conçu le support d'une information permettant la régulation de l'interaction entre agents.

Ces trois idées sont à la base des modèles B.N.B. présentés dans cette section.

3) APPORT DU MODELE B - N - B . :

COMMENT DISTRIBUER L' INFORMATION GLOBALE .

Les deux règles de comportement (acheteur et prestataire de service) sont localement implantées, au niveau de chaque agent, et sont communes à tous les agents.

L'interprétation locale qu'en fait chaque agent, en fonction de sa situation ou perspective propre, contribue partiellement à l'élaboration locale d'une information de contrôle susceptible de conduire à une solution globalement cohérente du *connexion problem*.

Par les demandes qu'il adresse aux prestataires de services, chaque agent agissant en tant que *manager* contribue en effet à modifier chacun des prix des services correspondants.

Chacun de ces prix, considéré isolément, est une information vide de signification du point de vue du contrôle et purement locale puisque c'est le comportement micro de l'agent, en tant qu'il est prestataire du service considéré, qui contribue à l'élaborer et à l'entretenir localement.

La structure générale des prix constitue quant à elle une information de contrôle de type global puisqu'elle permet d'informer les *managers* du système de la rareté ou préciosité relative des services

actuellement offerts en regard des tâches actuellement proposées: en ce sens elle traduit bien l'état courant de la solution au *connexion problem*.

Cette information qui est globale en raison de cette fonction de contrôle qu'elle remplit, n'a cependant pas d'autre existence (ou représentation dans le système) que locale: elle est disséminée (distribuée) chez chaque agent prestataire d'un service particulier. Seul le comportement d'acheteur des *managers*, de par les comparaisons auxquelles se livrent ceux-ci en vue d'obtenir le meilleur rapport qualité-prix, permet à cette information purement locale de jouer son rôle global d'information de contrôle.

En résumé:

Chaque prix, conçu isolément, est une information exclusivement locale car représentée et entretenue localement par l'agent prestataire du service considéré et modifiée uniquement en raison des comportements individuels des acheteurs potentiels de ce service.

Chaque prix, en tant qu'il est l'une des pièces atomiques constitutives de la structure d'ensemble des prix relatifs, est en même temps une information virtuellement globale.

Virtuellement car:

- * Il n'est qu'une pièce constitutive d'un élément plus important qui seul a le statut d'information de contrôle. En effet, ce prix, comme prix absolu, c'est à dire considéré isolément, n'a lui même aucun sens: seule la comparaison d'au moins deux prix délivre une information de contrôle.
- * ces comparaisons d'au moins deux prix, ou de façon plus générale, la structure d'ensemble des prix relatifs, n'ont elles-mêmes aucune existence dans le système sinon virtuelle, au travers des comparaisons auxquelles se livrent les *managers* conformément à leur comportement d'acheteur rationnel.

Le paragraphe qui suit n'a pour objet que de donner une présentation plus formelle et plus générale des quelques principes qui viennent d'être décrits dans le cas 2x2 ayant servi d'exemple à Smith et Davis.

4) B.N.B_1 : GENERALISATION.

Soient:

m tâches: $I = \{ 1, 2, \dots, i, \dots, m \}$

m services: $J = \{ 1, 2, \dots, j, \dots, m \}$

P_j : le "prix" du service j

E_{ij} l'avantage **absolu** à "localiser" la tâche i sur le service j avec: $\text{Det}(E_{ij}) \neq 0$.

E_{ij} / E_{ik} l'avantage **comparatif** à "localiser" la tâche i sur le service j plutôt que sur le service k.

a) Règle de comportement des agents en tant que *manager* de tâches.

Comme dans l'exemple (2x2) du paragraphe précédent, toute tâche i s'adresse au service k lui offrant le meilleur rapport qualité/prix.

De façon plus formelle:

$D_{ik} = 1$ si la tâche i demande le service k sinon $D_{ik} = 0$.

C'est à dire:

$$D_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si } E_{ik}/P_k = \text{Max}_j \{E_{ij}/P_j\} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Conformément à la règle de comportement des *managers*, le service k fait l'objet d'une demande en vue de l'exécution de la tâche i si, et seulement si:

$$E_{ik}/P_k = \max_j \{ E_{ij}/P_j \} \iff \left\{ \begin{array}{l} \exists j \text{ t.q. } E_{ik}/E_{ij} < P_k/P_j \\ \text{ou} \\ \forall j \neq k \quad E_{ik}/E_{ij} > P_k/P_j \end{array} \right.$$

Ceci signifie que la tâche i choisit le service k parce que son avantage comparatif est supérieur à son prix relatif quelque soit le service j pris comme référence dans cette comparaison.

b) Règles de comportement des agents prestataires de service.

Soit n_j , le nombre de tâches s'adressant au service j :

$$n_j = \sum_1 D_{ij}$$

Tout service hausse son prix dès lors que plusieurs tâches s'adressent à lui, car un service est ici supposé ne pouvoir être affecté qu'à une tâche unique.

$$\text{SI } n_j > 1 \quad \text{ALORS } P_j \longleftarrow P_j + \alpha \quad (1)$$

Une session du marché est close lorsque tous les services sont alloués:

$$\forall j, D_{ij} = 1$$

Soit C_k , l'ensemble des tâches en concurrence sur le service k : $\text{Card}(C_k) \geq 1$.

(1) Le mode de détermination de α est explicité supra.

Pour toute tâche appartenant à cet ensemble C_k , le service k est celui qui présente le meilleur rapport qualité/prix:

$$\forall i \in C_k, \quad \text{Max}_j \{ E_{ij}/P_j \} = E_{ik}/P_k$$

Soit $s_1 \in J$, le service offrant pour la tâche $i \in C_k$ le rapport "qualité/prix" de niveau immédiatement inférieur à celui présenté par le service k . Ce "second best" dépend évidemment de la tâche i considérée (1):

$$\forall i \in C_k, \quad \text{Max}_{j \neq (k)} \{ E_{ij}/P_j \} = E_{is_1}/P_{s_1}$$

ou encore:

$$\forall i \in C_k, \quad \forall j \neq k \text{ et } \forall j \neq s_1, \quad E_{ik}/P_k > E_{is_1}/P_{s_1} > E_{ij}/P_j$$

Toute tâche $i \in C_k$ maintiendra sa demande du service k tant que:

$$P_k < (E_{ik}/E_{is_1}) \cdot P_{s_1}$$

Soit \tilde{C}_k , l'ensemble C_k dont les éléments sont ordonnés par valeur décroissante des rapports:

$$(E_{ik}/E_{is_1}) \cdot P_{s_1}$$

c'est à dire:

$$(E_{1k}/E_{1s_1}) \cdot P_{s_1} > (E_{2k}/E_{2s_2}) \cdot P_{s_2} > \dots > (E_{nk}/E_{ns_n}) \cdot P_{s_n}$$

(1) D'où le double indice s_1 dans la suite.

La règle de manipulation du "prix" attachée au comportement des agents en tant que prestataires de service obéit au principe suivant:

$$\text{SI } n_k > 1 \text{ ALORS } P_k \longleftarrow (E_{1k}/E_{1s_1}) \cdot P_{s_1} - \varepsilon \quad (I)$$

En d'autres termes, soit $i' \in I$, la tâche telle que:

$$i' \in C_k \text{ et } (E_{i'k}/E_{i's_{i'}}) \cdot P_{s_{i'}} = \text{MAX}_{C_k} \{ (E_{ij}/E_{is_1}) \cdot P_{s_1} \}$$

Le mécanisme de variation du prix décrit en (I) amène toutes les tâches $i \in C_k$, autres que i' , à renoncer au service k pour postuler sur le service s_1 .

Il permet en même temps à la tâche i' de provoquer une hausse du prix P_k en proportion du désavantage qu'il y aurait pour elle à devoir renoncer au service k pour se replier sur son "second best" s_1 .

c) Négociation VS palabres infinies.

La résolution d'un conflit sur un service, suivant le principe qui vient d'être décrit, amène à ventiler sur les autres services les demandes de toutes les tâches (autres que i') qui participaient de ce conflit, créant ainsi d'éventuels autres conflits. Ce processus est-il fini: la négociation inter-tâches peut-elle aboutir en un temps fini et déboucher sur une structure d'équilibre stable des indicateurs de contrôle ?

A chaque étape de la négociation, se trouve associé un ensemble d'ensembles de conflit du type de C_j .

Soit Φ cet ensemble:

$$\Phi = \{ C_j \text{ t.q. } j \in J \}$$

Les éléments de Φ réalisent une partition de I.

- $\forall i \in I, \exists j \in J$ t.q. $i \in C_j$ d'où:

$$\bigcup_j C_j = I$$

- $\forall j \neq j', C_j \cap C_{j'} = \emptyset$ (1)

Un équilibre stable correspondant à une bijection entre les services et les tâches est atteint avec la partition Φ^* telle que:

$$\forall C_j \in \Phi^*, \text{Card}(C_j) = 1$$

Un jeu de valeurs quelconques de nos indicateurs de contrôle réalise une application injective p entre les éléments d'une partition Φ et les éléments de J.

Soit P l'ensemble infini des jeux de valeurs possibles des indicateurs de contrôle.

Soit P' l'ensemble des jeux de valeurs correspondant à des états distincts $p_\#$ de la négociation (changement de partition Φ et/ou changement d'application p).

Le nombre de partitions possibles d'un ensemble fini (I, l'ensemble des tâches) est un nombre fini.

Le nombre d'applications d'un ensemble fini vers un ensemble fini est un nombre fini.

$P' = \{ p_\# \}$ est donc un ensemble fini.

Soit P^* , de cardinal $m!$, le sous-ensemble de P' dont les éléments correspondent à des équilibres stables:

$$p_\# \in P^* \implies \forall C_j \in \Phi, \text{Card}(C_j) = 1 \implies p \text{ bijective.}$$

(1) Le cas où: $\exists (k, k') \in J \times J$ t.q. $k \neq k'$ et $E_{i,k}/P_k = E_{i,k'}/P_{k'} = \text{Max}_j (E_{i,j}/P_j)$ est traité simplement en ajoutant une "règle du jeu" supplémentaire obligeant cette tâche i à ne postuler que sur l'un des deux services k ou k' qu'elle peut arbitrairement choisir: la partition de I par les C_j est ainsi assurée.

Une négociation infinie suppose de parcourir indéfiniment les éléments de $P' - P^*$.

Notons \tilde{P} cet ensemble ($P' - P^*$) dont les éléments sont ordonnés selon leur ordre t d'apparition dans la négociation.

Associés à chaque élément p_{st} de \tilde{P} l'ensemble S_t défini par:

$$S_t = p(\Phi).$$

$$p_{st} \in \tilde{P} \iff S_t \subset J$$

$$p_{st} \notin P \iff S_t = J$$

PROPRIETE:

Cette suite d'ensembles S_t est telle que:

$$\forall t < t' \quad S_t \subseteq S_{t'}$$

DEMONSTRATION:

$$k \in S_t \implies \text{Card}(C_{k,t}) \geq 1$$

Raisonnons par disjonction de ces deux cas:

$$1) \text{Card}(C_{k,t}) = 1$$

$$\text{Card}(C_{k,t}) = 1 \implies \exists i \in I \text{ t.q. } (E_{ik}/P_{k,t}) = \text{Max}_J \{E_{ij}/P_{j,t}\} \quad (1)$$

$$\text{Card}(C_{k,t}) = 1 \implies P_{k,t+1} = P_{k,t} \quad (2)$$

$$\text{Par ailleurs:} \quad \forall j \neq k, P_{j,t+1} \geq P_{j,t} \quad (3)$$

$$(1) \text{ et } (2) \text{ et } (3) \implies E_{ik}/P_{k,t+1} = \text{Max}_J \{E_{ij}/P_{j,t+1}\}$$

$$\text{D'où } i \in C_{k,t} \text{ et } \text{Card}(C_{k,t}) = 1 \implies i \in C_{k,t+1} \quad (4)$$

2) $\text{Card}(C_{k,t}) > 1$

$\text{Card}(C_{k,t}) > 1 \implies \exists i' \in C_{k,t} \text{ t.q.}$

$$(E_{i'k}/E_{i's_{i'}}).P_{s_{i'}} = \text{MAX}_{C_k} \{(E_{ij}/E_{is_{i'}}).P_{s_{i'}}\} \quad (5)$$

$$\text{Card}(C_{k,t}) > 1 \implies P_{k,t+1} < (E_{i'k}/E_{i's_{i'}}).P_{s_{i'}} \quad (6)$$

Par ailleurs: $\forall j \neq k, P_{j,t+1} \geq P_{j,t} \quad (7)$

$$(5) \text{ et } (6) \text{ et } (7) \implies (E_{i'k}/P_{k,t+1}) = \text{MAX}_J \{E_{i'j}/P_{j,t+1}\}$$

$$\text{D'où } i' \in C_{k,t} \text{ et } \text{Card}(C_{k,t}) > 1 \implies i' \in C_{k,t+1} \quad (8)$$

Il résulte de (4) et (8) que:

$$k \in S_t \implies k \in S_{t+1}$$

D'où:

$$\forall t' < t, k \in S_{t'} \implies k \in S_t$$

$$\forall t' < t, S_{t'} \subseteq S_t$$

c.q.f.d.

Cette propriété s'interprète de la façon suivante:

L'absence de convergence vers une situation d'équilibre stable où $S=J$ suppose donc qu'il existe un état t de la négociation au-delà duquel plus aucun nouveau service ne se trouve intégré à la compétition inter-tâches, c'est à dire:

$$\exists t, \text{ t.q. } \forall t' > t \quad S_{t'} = S_t$$

Soit $\bar{S} \subset J$ l'ensemble des services ainsi indéfiniment exclus.

$$\forall j \notin \bar{S}, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} P_{j,t} = \infty$$

$$\forall j' \in \bar{S} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} P_{j',t} = c^{te}$$

$$\forall i, \forall j \notin \bar{S} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} E_{ij}/P_j = 0 \quad (I)$$

$$\forall i, \forall j' \in \bar{S} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} E_{ij'}/P_{j'} = c^{te} \quad (II)$$

$$\forall j' \in \bar{S} \iff \exists i \in I \text{ t.q. } E_{ij'}/P_{j'} = \text{Max}_j (E_{ij}/P_j) \quad (III)$$

$$(I) \text{ et } (II) \text{ et } (III) \implies \forall i, E_{ij'} = 0$$

$$\text{Or } \text{Det}(E_{ij}) \neq 0$$

C.Q.F.D.

En d'autres termes, si un ou plusieurs services sont indéfiniment non-sélectionnés, la raison en est qu'il(s) offre(nt) une efficacité nulle pour toutes les tâches actuellement à affecter.

En dehors de ce cas limite, la règle de comportement des gestionnaires de service précédemment décrite assure d'une hausse continue des indicateurs de contrôle associés aux services (j appartenant à S) sur lesquels plusieurs tâches se trouvent en concurrence (cf. (I)) tandis qu'elle maintient constant le prix des services (j' appartenant à \bar{S}) qui n'ont pas encore participé au jeu du marché: les prix relatifs offerts par ces derniers services $j' \in \bar{S}$ sont donc de plus en plus avantageux, et ils finissent inéluctablement par entrer dans les préférences d'un *manager* à moins qu'ils ne présentent la tare réhébitorie d'avoir une efficacité nulle pour toutes les tâches proposées.

En d'autres termes, soit la suite des valeurs prises par $\text{Card}(S)$. Cette suite est décroissante au sens large

$$\text{Card}(S_t) \leq \text{Card}(S_{t-1})$$

et minorée par l'élément 0:

$$\text{Card}(S) = 0 \iff S = \emptyset \iff S = J$$

Cette dernière situation traduit le fait qu'une structure de "prix" relatifs d'équilibre a été trouvée par les agents du système.

On trouvera ci-dessous une illustration de ce processus de négociation.

$$I = \{A, B, C, D\} \quad \text{et} \quad J = \{X, Y, Z, T\}$$

La matrice des coefficients E_{ij} est donnée par le tableau suivant:

Matrice des E_{ij}

	A	B	C	D
X	0.950	0.770	0.700	0.300
Y	0.800	0.100	0.600	0.200
Z	0.300	0.200	0.400	0.400
T	0.980	0.800	0.730	0.500

Les tableaux qui suivent correspondent aux différentes étapes t du processus de négociation.

- La ligne (I) indique le système de prix en vigueur.
- Le tableau des lignes (II) à (IV) associe aux *managers* les rapports "qualité/prix" E_{ij}/P_j des services qui leur sont proposés: ces rapports sont ordonnés par valeur décroissante.
- Les lignes (VI) à (X) donnent, pour le service k faisant l'objet d'un conflit, le calcul du prix limite acceptable par les différentes tâches i en conflit sur ce service, à savoir:

$$(E_{ik}/E_{is}) \cdot P_s$$

- Enfin les lignes (XI) et (XII) associent aux différentes tâches les services qu'elles ont finalement sélectionnés.
- Dans la partie droite de chaque tableau se trouvent indiqués, pour l'état t de la négociation correspondant:

- . La partition Φ de l'ensemble des tâches I réalisée par les ensembles de conflits C_j .
- . L'application p qui associe à chaque élément de Φ les services sélectionnés par les tâches correspondantes.
- . L'ensemble des services sélectionnés en l'état de la négociation: $S = p(\Phi)$.

Cet exemple illustre les propriétés qui viennent d'être démontrées. On remarquera notamment que les étapes (4), (5), (6) et (7) voient la tâche B "hésiter" entre les services X et T:

- en C_x , B se trouve en concurrence avec A.
- en C_t , B se trouve en concurrence avec D.

La solution d'un conflit sur l'un de ces deux services reproduit donc les conditions d'un conflit antérieur sur l'autre service. Durant cette valse-hésitation $\text{Card}(S)$ demeure égal à 2. Conformément au processus précédemment décrit, cette "oscillation" a pour résultat d'assurer la hausse des prix des services X et T relativement à ceux des autres services, et notamment par rapport au prix du service Z qui n'a encore été sélectionné par aucune tâche ($Z \notin S$) et dont le prix est donc demeuré égal à sa valeur initiale. En dépit de sa faible attractivité en termes d'avantage relatif, ce service devient de plus en plus avantageux en termes de rapport qualité/prix et le processus prendra fin dès que la tâche D postulera sur Z.

(1)

Px= 1.000	Py= 1.000	Pz= 1.000	Pt= 1.000	(I)	
A	B	C	D		
T 0.980	T 0.800	T 0.730	T 0.500	(II)	
X 0.950	X 0.770	X 0.700	Z 0.400	(III)	
Y 0.800	Z 0.200	Y 0.600	X 0.300	(IV)	
Z 0.300	Y 0.100	Z 0.400	Y 0.200	(V)	
A	B	C	D		
0.980	0.800	0.730	0.500	(VI)	
0.950	0.770	0.700	0.400	(VII)	
1.032	1.039	1.043	1.250	(VIII)	
1.000	1.000	1.000	1.000	(IX)	
1.032	1.039	1.043	1.250	(X)	
A	B	C	D	(XI)	
T	T	T	T	(XII)	

$\Phi = \{(A, B, C, D)\}$
 \downarrow
 $p(\Phi) = S = \{T\}$

A, B, C: T --> X
(2)

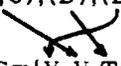
Px= 1.000	Py= 1.000	Pz= 1.000	Pt= 1.240	(I)	
A	B	C	D		
X 0.950	X 0.770	X 0.700	T 0.403	(II)	
Y 0.800	T 0.645	Y 0.600	Z 0.400	(III)	
T 0.790	Z 0.200	T 0.589	X 0.300	(IV)	
Z 0.300	Y 0.100	Z 0.400	Y 0.200	(V)	
A	B	C	D		
0.950	0.770	0.700		(VI)	
0.800	0.800	0.600		(VII)	
1.188	0.963	1.167		(VIII)	
1.000	1.240	1.000		(IX)	
1.188	1.194	1.167		(X)	
A	B	C	D		(XI)
X	X	X	T		(XII)

$\Phi = \{(A, B, C), (D)\}$

 $p(\Phi) = S = \{X, T\}$

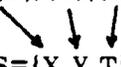
A, C: X --> Y
(3)

Px= 1.192	Py= 1.000	Pz= 1.000	Pt= 1.240	(I)	
A	B	C	D		
Y 0.800	X 0.646	Y 0.600	T 0.403	(II)	
X 0.797	T 0.645	T 0.589	Z 0.400	(III)	
T 0.790	Z 0.200	X 0.587	X 0.252	(IV)	
Z 0.300	Y 0.100	Z 0.400	Y 0.200	(V)	
A	B	C	D		
0.800		0.600		(VI)	
0.950		0.730		(VII)	
0.842		0.822		(VIII)	
1.192		1.240		(IX)	
1.004		1.019		(X)	
A	B	C	D		(XI)
Y	X	Y	T		(XII)

$\Phi = \{(A, C), (D), (B)\}$

 $p(\Phi) = S = \{X, Y, T\}$

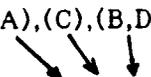
A: Y --> X
(4)

Px= 1.192	Py= 1.015	Pz= 1.000	Pt= 1.240	(I)	
A	B	C	D		
X 0.797	X 0.646	Y 0.591	T 0.403	(II)	
T 0.790	T 0.645	T 0.589	Z 0.400	(III)	
Y 0.788	Z 0.200	X 0.587	X 0.252	(IV)	
Z 0.300	Y 0.099	Z 0.400	Y 0.197	(V)	
A	B	C	D		
0.950	0.770			(VI)	
0.980	0.800			(VII)	
0.969	0.963			(VIII)	
1.240	1.240			(IX)	
1.202	1.194			(X)	
A	B	C	D		(XI)
X	X	Y	T		(XII)

$\Phi = \{(A, B), (C), (D)\}$

 $p(\Phi) = S = \{X, Y, T\}$

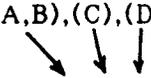
B: X --> T
(5)

Px= 1.200	Py= 1.015	Pz= 1.000	Pt= 1.240	(I)	
	A	B	C	D	
X	0.792	T 0.645	Y 0.591	T 0.403	(II)
T	0.790	X 0.642	T 0.589	Z 0.400	(III)
Y	0.788	Z 0.200	X 0.583	X 0.250	(IV)
Z	0.300	Y 0.099	Z 0.400	Y 0.197	(V)
	A	B	C	D	
		0.800		0.500	(VI)
		0.770		0.400	(VII)
		1.039		1.250	(VIII)
		1.200		1.000	(IX)
		1.247		1.250	(X)
A	B	C	D		(XI)
X	T	Y	T		(XII)

$\Phi = \{(A), (C), (B, D)\}$

 $p(\Phi) = S = \{X, Y, T\}$

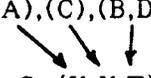
B: T --> X
(6)

Px= 1.200	Py= 1.015	Pz= 1.000	Pt= 1.249	(I)	
	A	B	C	D	
X	0.792	X 0.642	Y 0.591	T 0.400	(II)
Y	0.788	T 0.641	T 0.584	Z 0.400	(III)
T	0.785	Z 0.200	X 0.583	X 0.250	(IV)
Z	0.300	Y 0.099	Z 0.400	Y 0.197	(V)
	A	B	C	D	
	0.950	0.770			(VI)
	0.800	0.800			(VII)
	1.188	0.963			(VIII)
	1.015	1.249			(IX)
	1.205	1.202			(X)
A	B	C	D		(XI)
X	X	Y	T		(XII)

$\Phi = \{(A, B), (C), (D)\}$

 $p(\Phi) = S = \{X, Y, T\}$

B: X --> T
(7)

Px= 1.204	Py= 1.015	Pz= 1.000	Pt= 1.249	(I)	
	A	B	C	D	
X	0.789	T 0.641	Y 0.591	T 0.400	(II)
Y	0.788	X 0.640	T 0.584	Z 0.400	(III)
T	0.785	Z 0.200	X 0.581	X 0.249	(IV)
Z	0.300	Y 0.099	Z 0.400	Y 0.197	(V)
	A	B	C	D	
		0.800		0.500	(VI)
		0.770		0.400	(VII)
		1.039		1.250	(VIII)
		1.204		1.000	(IX)
		1.251		1.250	(X)
A	B	C	D		(XI)
X	T	Y	T		(XII)

$\Phi = \{(A), (C), (B, D)\}$

 $p(\Phi) = S = \{X, Y, T\}$

D: T --> Z
(8)

Px= 1.204	Py= 1.015	Pz= 1.000	Pt= 1.2508	(I)	
A	B	C	D		
X 0.789	T 0.640	Y 0.591	Z 0.400	(II)	
Y 0.788	X 0.640	T 0.584	T 0.399	(III)	
T 0.783	Z 0.200	X 0.581	X 0.249	(IV)	
Z 0.300	Y 0.099	Z 0.400	Y 0.197	(V)	
A	B	C	D		
0.950	0.800	0.600	0.400	(VI)	
0.800	0.770	0.730	0.500	(VII)	
1.188	1.039	0.822	0.800	(VIII)	
1.015	1.204	1.251	1.251	(IX)	
1.205	1.251	1.028	1.001	(X)	
A	B	C	D	(XI)	
X	T	Y	Z	(XII)	

$\Phi = \{(A), (B), (C), (D)\}$
 $p(\Phi) = S = \{X, Y, Z, T\}$

d) Une propriété remarquable.

On a appelé P^* l'ensemble à $m!$ éléments p_s tel que:

$$\forall p_s \in P^*, p(\Phi) = J$$

Soit $s^* \in P^*$ la solution obtenue par les mécanismes qui viennent d'être décrits et $\{P_j\}$ le système de prix correspondant.

Notons P_s le produit des efficacités des services pour une solution $s \in P^*$.

Supposons qu'il existe $s \in P^*$ tel que:

$$s \neq s^* \text{ et } P_s > P_{s^*}.$$

Les solutions s et s^* diffèrent par au moins l'affectation de deux services.

Soient k et l ces services et m et n les tâches concernées par les affectations correspondantes.

La solution obtenue par le jeu du marché est telle que:

$$\left. \begin{array}{l} (E_{mk} / P_k) = \text{Max}_j (E_{mj} / P_j) \\ \text{ET} \\ (E_{nl} / P_l) = \text{Max}_j (E_{nj} / P_j) \end{array} \right\} \equiv \left\{ \begin{array}{l} (E_{mk} / P_k) > (E_{ml} / P_l) \\ \text{ET} \\ (E_{nl} / P_l) > (E_{nk} / P_k) \end{array} \right. \quad (1)$$

alors que la solution s propose l'affectation de l à m et de k à n.

$$P_s > P_{s^*} \implies P_s / (\prod_j P_j) > P_{s^*} / (\prod_j P_j)$$

C'est à dire:

$$(E_{1j_1} \dots E_{nk} \cdot E_{ml} \dots E_{nj_n}) / (\prod_j P_j) > (E_{1j_1} \dots E_{nl} \cdot E_{mk} \dots E_{nj_n}) / (\prod_j P_j)$$

ou encore:

$$(E_{nk} / P_k) \cdot (E_{ml} / P_l) > (E_{nl} / P_l) \cdot (E_{mk} / P_k)$$

qui est en contradiction avec (1).

On appelle Φ -moyenne d'une variable discrète X à valeurs x_1 et à fréquences f_1 , la quantité M_Φ telle que:

$$\Phi(M_\Phi) = \sum_1 (f_1 \Phi(x_1))$$

La log-moyenne ou moyenne géométrique s'écrit donc:

$$M_{\log} = \prod_1 (x_1^{f_1})$$

L'affectation obtenue par le simple jeu des mécanismes de marché précédemment décrits permet la maximisation de la moyenne géométrique des avantages absolus des différents services pour les diverses tâches qui leur sont proposées.

**II - 2 - 2 - 4 . PROBLEME DE REPARTITION GLOBALEMENT COHERENTE :
LE MODELE B . N . B _ 2 .**

1) CONNECTION VS REPARTITION .

Afin de mieux apprécier l'éventuelle généralité des principes qui inspirent les modèles B.N.B. (conception "constitutionnelle" VS conception "administrative" de l'intégration des agents), appliquons les à un cas-type sémantiquement moins pauvre que l'exemple paradoxe de Smith et Davis. A cet effet, enrichissons ce dernier des éléments suivants:

- la tâche A est α fois plus importante que la tâche B.
- l'affectation des services aux tâches n'est plus exclusive: les agents X et Y peuvent ainsi partager leurs efforts entre les tâches A et B qui, symétriquement, peuvent concevoir ces services comme complémentaires.
- les marges de manoeuvre disponibles sur les paramètres X et Y ne sont pas illimitées.

Le problème, posé dans ces termes, s'éloigne du "*connexion problem*" abordé au paragraphe précédent pour prendre la forme modifiée d'un problème de **répartition globalement cohérente**.

		Priorité		
		α	1	
		A	B	
Marge de manoeuvre	5	X	0,9	0,8
	10	Y	0,8	0,2

EXEMPLE:

Dans le domaine de l'analyse financière qui nous intéresse, une hausse souhaitable du chiffre d'affaire autorisé (la tâche A par exemple) peut être obtenue en jouant sur différents paramètres: importance des capitaux propres, niveau d'indépendance financière... qui correspondent aux divers services X, Y....

L'intervention de la tâche A sur l'un de ces paramètres n'interdit nullement le recours à un ou plusieurs des autres paramètres en vue d'une action complémentaire.

Dans le même temps une action (tâche B) peut être également souhaitable en vue d'infléchir l'un des deux autres chiffres d'affaire : cette action peut elle-même supposer une intervention sur certains des paramètres qui intéressent également la première tâche de correction du chiffre d'affaire autorisé.

Enfin ces deux tâches ne se trouvent pas sur un pied d'égalité: c'est la situation de l'entreprise qui dicte l'importance relative des deux tâches A et B.

Ce problème peut-il également être résolu dans le cadre d'un modèle de contrôle distribué fondé sur les principes qui ont été précédemment présentés en vue de résoudre le "*connection problem*" suggéré par Smith et Davis ?

- 1) Quelles propriétés doivent localement vérifier les indicateurs de contrôle pour que leur structure d'ensemble corresponde à une répartition globalement acceptable des services disponibles ?
- 2) Quelles sont les "règles du jeu" qui conduiront aux indicateurs de contrôle ayant les propriétés ainsi définies ?

Notons:

E_{ij} l'efficacité du service j pour la tâche i .

$$E_{ax}=0,9 \quad E_{ay}=0,8 \quad \text{etc...}$$

ε_{ij} l'efficacité relative du service j pour la tâche i :

$$\varepsilon_{ij} = E_{ij} / \sum_j E_{ij}$$

$$\varepsilon_{ax}=0,9/(0,9+0,8) \quad \varepsilon_{bx}=0,8/(0,8+0,2) \quad \text{etc...}$$

r_i l'importance relative de la tâche i : $\sum_i r_i = 1$

$$r_a=\alpha/(\alpha+1) \quad \text{et} \quad r_b=1/(\alpha+1)$$

\bar{q}_j la "quantité disponible" du service j .

$$\bar{q}_x=5 \quad \text{et} \quad \bar{q}_y=10$$

Soit θ_j , l'indicateur de contrôle associé au service j .

Le comportement des agents doit conduire à la réalisation de valeurs locales des θ_j telles que ceux-ci puissent jouer efficacement leur rôle d'information de contrôle. A cet effet les rapports $\theta_j/\theta_{j'}$ doivent refléter l'utilité "sociale" relative et la rareté relative des services j et j' .

A titre d'exemple, et, en l'état, de façon tout à fait intuitive, un bon indicateur θ_j pourrait être construit de la façon suivante:

$$\theta_j = (\sum_i r_i \cdot E_{ij}) / \bar{q}_j$$

Il s'agit en effet d'un bon indicateur de l'utilité collective et de la rareté du service j puisqu'il varie proportionnellement à:

- la moyenne des utilités relatives ϵ_{ij} du service j considéré pour les tâches i, celles-ci étant pondérées par leur importance r_i : $\Sigma_i r_i \cdot \epsilon_{ij}$
- la rareté du service j considéré: $1/\bar{q}_j$.

Le modèle devrait alors être tel que les règles de comportement associées à chaque agent à la recherche de son optimum local conduisent celui-ci à adresser aux services des requêtes qui:

- contribuent à l'élaboration de cette information de contrôle
- tiennent compte de l'évolution d'un tel indicateur.

De ce dernier point de vue, si l'on note q_{ij} l'importance des efforts finalement consentis à la tâche i par le service j, il faudrait que:

$$q_{ij} = (r_i \cdot \epsilon_{ij}) / \theta_j$$

L'effort consenti à i par j serait en effet ainsi en proportion directe de l'utilité relative de ce service j pour la tâche assumée par i (ϵ_{ij}), celle-ci étant pondérée par son importance relative r_i ($r_i \cdot \epsilon_{ij}$) et en proportion inverse de l'utilité sociale et de la rareté de ce même service pour l'ensemble de la collectivité (θ_j).

Existe-t-il des procédures de décision, dont l'incorporation au comportement des agents du système, garantirait l'élaboration locale d'un tel indicateur de contrôle ?

2) LE MODELE .

Soient:

m services: $j=1, 2, \dots, m.$

n tâches $i=1, 2, \dots, n.$

Notre société d'agents est "monétarisée" par l'injection initiale d'une encaisse monétaire M ventilée entre les différents agents i dans des proportions r_i représentant l'importance relative de la tâche assumée par l'agent i.

Soit R_i le "budget" de l'agent i.

$$R_i = r_i.M \quad \sum_i R_i = M$$

Notons encore:

q_{ij} la mesure de l'effort consenti par le service j à la résolution de la tâche i.

P_j l'indicateur de contrôle associé au service j.

\bar{q}_j la marge de manoeuvre initialement disponible sur le service j.

E_{ij} l'efficacité du service j pour la tâche i.

$\varepsilon_{ij} = E_{ij} / \sum_j E_{ij}$ l'efficacité relative du service j pour la tâche i.

$\pi_{ij} = P_j.q_{ij} / R_i$ la part de son "budget" que la tâche i affecte à l'achat du service j.

a) Règles de comportement des *managers* de tâches.

Chaque agent i respecte:

- une contrainte de budget:

$$\forall i \quad \sum_j \pi_{ij} = 1 \quad (I)$$

- une règle du jeu ou procédure de décision commune à tous les agents i

$$\forall i \quad \forall j, \quad \pi_{ij} = \varepsilon_{ij} \quad (II)$$

qui signifie que chaque agent i réalise l'optimisation (locale) de son encaisse, compte tenu des informations dont il dispose localement: il répartit en effet celle-ci entre les différents services ayant répondu à son appel d'offre en proportion (π_{ij}) de leur utilité relative (ε_{ij}) pour la tâche dont il assure l'exécution.

b) Règle de comportement des agents prestataires de services.

Ne peut être réparti que ce qui était initialement disponible:

$$\forall j, \quad \bar{q}_j = \sum_i q_{ij} \quad (III)$$

A cette fin le comportement des agents prestataires de services obéit au principe suivant:

SI $\bar{q}_j < \sum_i q_{ij}$

ALORS $P_j \leftarrow P_j + \varepsilon$

SINON

SI $\bar{q}_j > \sum_i q_{ij}$

ALORS $P_j \leftarrow P_j - \varepsilon$

c) Existence d'un équilibre stable.

Nos agents vont se comporter comme les résolveurs d'un système d'équations simultanées:

Equations.

• n équations du type (I)

$$\forall i \quad \sum_j \pi_{ij} = 1$$

• n(m-1) équations du type (II).

$$\forall i \quad \forall j, \quad \pi_{ij} = \varepsilon_{ij}$$

ces équations sont au nombre de n(m-1):

$$\forall j \neq j', \quad \pi_{ij} = \varepsilon_{ij} \implies \pi_{ij'} = \varepsilon_{ij'}$$

• m équations du type (III)

$$\forall j, \quad \bar{q}_j = \sum_i q_{ij}$$

Au total: m(n+1) équations.

Inconnues:

• les m prix P_j

• les mn quantités consommées q_{ij}

Au total: m(n+1) inconnues.

d) Détermination du système.

$$\forall i, \forall j, \quad \pi_{ij} = \varepsilon_{ij} \quad (\text{cf. II})$$

$$\forall i, \forall j, \quad R_i \cdot \pi_{ij} = R_i \cdot \varepsilon_{ij}$$

$$\text{or } \pi_{ij} = \frac{P_j \cdot q_{ij}}{R_i}$$

D'où:

$$\forall i, \forall j, \quad P_j \cdot q_{ij} = R_i \cdot \varepsilon_{ij} \quad (\text{IV})$$

$$\forall i, \forall j, \forall k \in \{1, \dots, n\}, \quad \frac{P_j \cdot q_{ij}}{P_j \cdot q_{kj}} = \frac{R_i \cdot \varepsilon_{ij}}{R_k \cdot \varepsilon_{kj}}$$

$$\forall i, \forall j, \forall k \in \{1, \dots, n\}, \quad q_{ij} = \frac{R_i \cdot \varepsilon_{ij}}{R_k \cdot \varepsilon_{kj}} \cdot q_{kj}$$

$$\forall j, \forall k, \quad \sum_i q_{ij} = q_{kj} \cdot \sum_i \frac{R_i \cdot \varepsilon_{ij}}{R_k \cdot \varepsilon_{kj}}$$

$$\text{Or } \forall j, \quad q_j = \sum_i q_{ij} \quad (\text{III}) \quad \text{et} \quad R_i = r_i \cdot M$$

D'où:

$$\forall k, \forall j, \quad \bar{q}_j = q_{kj} \cdot \sum_i \frac{r_i}{r_k} \cdot \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{kj}}$$

$$\forall k, \forall j: \quad q_{kj} = \frac{\bar{q}_j}{\sum_i \frac{r_i}{r_k} \cdot \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{kj}}} \quad (\text{V})$$

$$\forall i, \forall k: \quad P_j \cdot q_{kj} = R_k \cdot \varepsilon_{kj} \quad (\text{cf. IV})$$

$$P_j = \frac{R_k \cdot \varepsilon_{kj}}{q_{kj}}$$

$$\text{avec: } q_{kj} = \frac{\bar{q}_j}{\sum_i \frac{r_i}{r_k} \cdot \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{kj}}}$$

$$P_j = \frac{R_k \cdot \varepsilon_{kj} \quad \Sigma_i \frac{r_i}{r_k} \cdot \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{kj}}}{\bar{q}_j}$$

avec: $R_k = r_k \cdot M$

D'où:

$$\forall j \quad \frac{P_j}{M} = \frac{\Sigma_i r_i \cdot \varepsilon_{ij}}{q_j} = \theta_j$$

Ce premier résultat appelle plusieurs commentaires.

- * L'interaction entre agents acceptant les "règles du jeu" communes précédemment décrites conduit à la détermination d'indicateurs de contrôle P_j identiques, au facteur M près, à l'indicateur θ_j qui avait été initialement (mais intuitivement) présenté comme susceptible d'être un bon indicateur de contrôle. Rappelons en effet que cet indicateur θ_j varie proportionnellement à:
 - la moyenne des utilités du service j considéré pour les tâches i , celles-ci étant pondérées par leur importance: $\Sigma_i r_i \cdot \varepsilon_{ij}$
 - la rareté du service j considéré: $1/\bar{q}_j$.
- * La présence de ce facteur d'échelle M nous permet de retrouver un résultat familier. La valeur de chaque indicateur de contrôle $P_j = M \cdot \theta_j$ conçu isolément est dénuée de signification, puisque la valeur de M est arbitraire. Mais seule la valeur nominale des indicateurs de contrôle est affectée par M (1). Or seule la structure générale de ces indicateurs de contrôle donnée par la

(1) Les univers informatiques multi-agents peuvent-ils connaître l'inflation ?

suite des rapports $P_j/P_j = \theta_j/\theta_j$, constitue une information de contrôle globale: elle permet en effet d'ouvrir les managers au souci de l'intérêt collectif en les amenant à tenir compte de la rareté et de la préciosité relative des divers services disponibles en regard des tâches actuellement à résoudre dans le système. L'élaboration et la prise en compte de cette information globale est possible sans renoncer au caractère distribué du contrôle: la structure d'ensemble des θ_j n'a en effet pas besoin d'être explicitement représentée dans le système car ce sont les comportements locaux des agents, par les arbitrages auxquels ils se livrent, qui permettent aux θ_j de remplir leur rôle de contrôle.

c) Dichotomie micro/macro

sans conflit optimum local/optimum global.

Le modèle ici présenté est parfaitement distribué: le comportement global du système ne résulte que de l'agrégation d'actions entreprises localement. Cependant:

$$\forall j, \quad P_j = \frac{\sum_i R_i \cdot \varepsilon_{ij}}{\bar{q}_j}$$

$$\forall i \quad \frac{1}{P_j} = \frac{\bar{q}_j}{\sum_i R_i \cdot \varepsilon_{ij}}$$

$$\forall j, \quad \forall k \quad \frac{R_k \cdot \varepsilon_{kj}}{P_j} = \frac{\bar{q}_j}{\sum_i \frac{R_i}{R_k} \cdot \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{kj}}}$$

$$\forall j, \quad \forall k \quad \frac{R_k \cdot \varepsilon_{kj}}{P_j} = \frac{\bar{q}_j}{\sum_i \frac{r_i}{r_k} \cdot \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{kj}}}$$

Or:

$$\frac{\bar{q}_j}{\sum_i \frac{r_i}{r_k} \cdot \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{kj}}} = q_{kj} \quad (\text{cf. V})$$

$$\text{Donc: } \forall k, \forall j, \quad q_{kj} = M \cdot \frac{r_k \cdot \varepsilon_{kj}}{P_j}$$

D'où:

$$q_{kj} = \frac{r_k \cdot \varepsilon_{kj}}{\Theta_j}$$

Ce résultat traduit qu'est finalement concédé à l'agent k un accès q_{kj} au service j

- en proportion directe de $r_k \cdot \varepsilon_{kj}$ qui représente l'utilité spécifique de ce service j pour la tâche assumée par k
- en proportion inverse de Θ_j qui représente l'utilité sociale et la rareté de ce même service pour la collectivité, c'est à dire en proportion inverse de la privation que k impose aux autres agents du système en s'appropriant une partie des efforts que l'agent j peut mettre au service de la collectivité.

Notons pour terminer que la réalisation des équilibres partiels s'identifie à la réalisation d'un équilibre global. En effet:

$$\forall j, \quad \bar{q}_j = \sum_i q_{ij}$$

$$\forall j, \quad P_j \cdot \bar{q}_j = \sum_i q_{ij} \cdot P_j$$

D'où:

$$\sum_j P_j \bar{q}_j = \sum_j \sum_i q_{ij} P_j$$

$$\sum_j P_j \bar{q}_j = \sum_i \sum_j q_{ij} P_j$$

$$\sum_j P_j \bar{q}_j = \sum_i R_i$$

$$\sum_j P_j \bar{q}_j = M$$

Les services initialement disponibles ont été intégralement affectés:

$$\forall j, \quad \bar{q}_j = \sum_i q_{ij}$$

et cette affectation coïncide avec l'épuisement des "revenus" dont disposaient initialement les diverses tâches et dont la structure (des revenus) traduisait la priorité relative de ces tâches.

II.2.3 COMMUNICATION DIRECTE

&

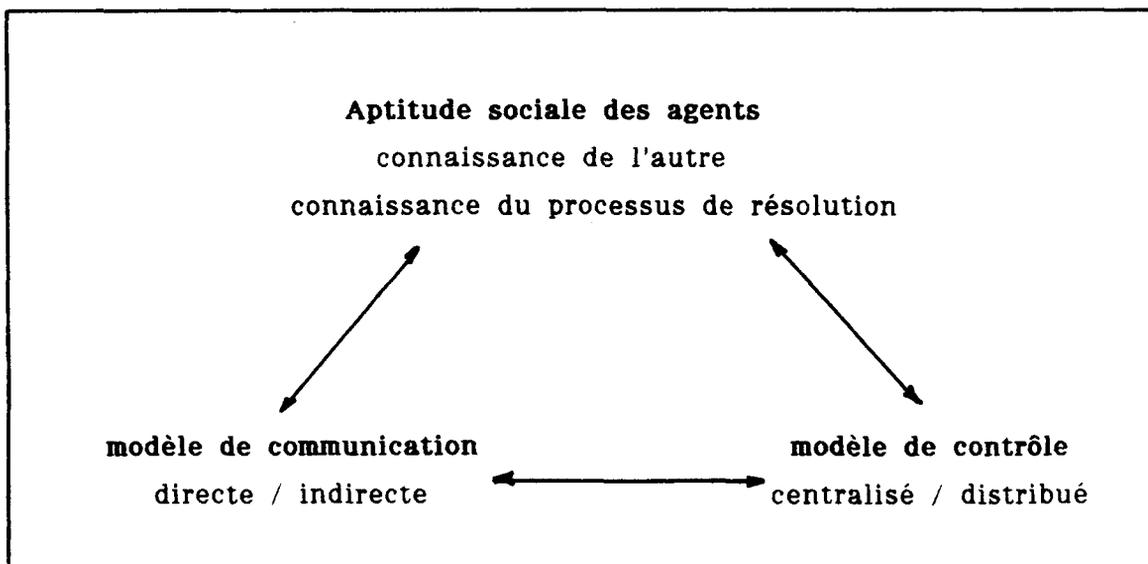
CONTROLE DISTRIBUE :

CONCLUSION.

1) RESEAU DE CONTRATS ET CONFLIT MICRO/MACRO.

Le paradigme sur lequel se fondent les systèmes multi-agents, en instaurant une dichotomie entre les niveaux micro et macro du système, introduit un conflit latent entre cohérence globale et action locale: comment obtenir du système un comportement global cohérent lorsque celui-ci est le résultat de l'agrégation d'actions basées sur une connaissance à la fois locale et incomplète ?

L'élaboration d'une solution cohérente à ce problème nous semble supposer des choix compatibles sur trois aspects interdépendants d'une architecture d'I.A.D.: le modèle de communication (directe/indirecte), l'"aptitude sociale" des agents, le modèle de contrôle (distribué ou non).



Le modèle du réseau de contrats opte pour une communication directe et un contrôle distribué, ces deux choix étant organisés autour d'un protocole de résolution de problème appelé la négociation.

La négociation offre l'avantage, conformément au principe de distribution de la connaissance et du contrôle, de permettre à chaque agent d'évaluer les informations échangées et d'agir en fonction de sa perspective propre.

Mais en revanche, en ce qui concerne le troisième pôle, relatif à l'aptitude sociale des agents, la métaphore du réseau de contrats demeure silencieuse: le modèle ne prévoit en effet aucun **mécanisme de "socialisation" des agents** qui, tout en demeurant compatible avec le caractère local de la prise de décision, permettrait de **sensibiliser les agents au souci de l'intérêt collectif par une prise en compte locale de cet intérêt collectif.**

Le problème posé par la définition et l'implémentation de ces mécanismes est délicat puisqu'il s'exprime dans les termes d'un dilemme.

- * La cohérence globale du comportement du système appelle une représentation et une prise en compte d'une information par essence globale: l'intérêt collectif de la société d'agents.
- * Le caractère distribué du modèle impose une représentation et une prise en compte locale de cet intérêt collectif.

Le modèle du réseau de contrats ne propose aucun moyen susceptible de permettre l'indispensable réconciliation de ces exigences apparemment contradictoires.

En l'absence de tels mécanismes de socialisation, le modèle du réseau de contrats, au-delà de l'avantage qu'il prétend offrir en autorisant chaque agent à évaluer les informations échangées en fonction de sa perspective propre, introduit surtout un obstacle dirimant au contrôle distribué pourtant visé: en enfermant les agents sur leur seule perspective personnelle, le modèle s'interdit de pouvoir

garantir qu'il résultera de l'agrégation des actions localement décidées un comportement globalement cohérent. L'usage du modèle du réseau de contrats se trouve ainsi confiné à la classe des problèmes aisément décomposables en sous-problèmes indépendants.

En fait, UN MODELE AINSI FONDE SUR DES AGENTS DE BASE DENUES DE TOUTE APTITUDE SOCIALE NE PEUT EN REALITE S'ACCOMMODER QUE D'UN CONTROLE CENTRALISE: un (des) agent(s), parce qu'il(s) monopolise(nt) la connaissance du processus global de résolution, contrôle(nt) l'activité des autres agents du système.

2) RATIONALITE COLLECTIVE INTERNE / EXTERNE A L' AGENT

Cette analyse, qui impute au défaut de mécanismes de socialisation des agents l'impossibilité de mettre effectivement en oeuvre un modèle multi-agents fondé sur un contrôle distribué, suppose, afin d'être étayée, de pouvoir:

- donner des exemples de tels mécanismes de socialisation des agents
- montrer que le modèle du réseau de contrats, ainsi complété, devient susceptible de surmonter les obstacles sur lesquels il butait dans sa version initiale.

Les recherches actuelles nous semblent s'être orientées vers ce que nous avons appelé une **conception administrative de l'intégration sociale des agents**. Elles visent en effet à obtenir de l'appartenance des agents à une organisation, la constitution de ceux-ci en un groupe organisé: à cette fin la structure organisationnelle doit permettre de superposer à la foule des agents, un système de contraintes et d'attentes concernant leurs comportements possibles. Cette perspective, qui consiste à **trouver extérieurement à l'agent le support de représentation de la rationalité du groupe**, nous semble peu compatible avec le caractère distribué du modèle. Par ailleurs, l'apport de ces travaux demeure jusqu'à présent essentiellement limité à

l'élaboration et à la mesure de critères d'efficacité des divers types d'organisation envisageables.

A cette conception administrative, qui attend, d'une structure extérieurement définie et imposée aux agents, leur organisation et la cohérence globale de leur comportement, nous opposons une conception, dite constitutionnelle, qui vise à obtenir le même résultat de l'acceptation et de l'application locale par chaque agent d'un certain nombre de procédures de décision communes. Cette voie, qui fait de l'agent lui-même le support de représentation de la rationalité collective, présente l'avantage d'être d'emblée compatible avec le caractère distribué du modèle.

3) APPORT DU MODELE B . N . B . : INTEGRATION MICRO/MACRO ET DISTRIBUTION DE L' INFORMATION GLOBALE .

Les modèles B.N.B., par lesquels nous avons voulu concrétiser et tester l'applicabilité de ce principe général, présentent la caractéristique de permettre une intégration effective des niveaux micro et macro (absence de conflit cohérence globale/action locale) sans enfreindre l'uniformité d'application du principe de distribution du modèle.

La réconciliation entre:

- la nécessité, en vue de garantir la cohérence globale de comportement du système, de la représentation et de la prise en compte de l'intérêt collectif, information par essence globale,

et

- la nécessité, en vue de garantir le caractère distribué du modèle, d'une représentation locale de cet intérêt collectif

résulte, dans un modèle B.N.B., d'une double distribution de l'information globale:

* La représentation du groupe, en tant qu'entité, n'impose pas, dans ce type de modèle, la représentation d'une structure extérieure aux agents parce que cette représentation de la rationalité collective se trouve encapsulée au niveau de chaque agent sous forme d'un ensemble de procédures de décision communes à tous les agents. La nature de ces procédures de décision répond à une double exigence:

- elles varient au cas par cas en fonction de la nature du problème à traiter car leur modification s'accompagne d'une modification de l'aptitude ou de la finalité du groupe d'agents en tant qu'entité.
- ces règles du jeu communes sont telles qu'elles lient les agents par les liens d'une solidarité spontanée ou involontaire de telle sorte que chaque agent à la poursuite de son optimum local contribue partiellement à la réalisation d'un optimum global.

* La représentation de l'état courant du système est elle-même distribuée sous forme d'une suite d'indicateurs de contrôle localement traités par les agents du système. Chacun de ces indicateurs n'a d'autre signification que locale. N'a statut d'information de contrôle et ne représente l'état courant du système que la structure d'ensemble de ces indicateurs. Mais cette dernière à son tour n'a pas besoin, afin de pouvoir jouer son rôle d'information de contrôle en influençant le comportement des agents, d'une représentation explicite et extérieure aux agents. Sa représentation dispersée ou distribuée sur les agents chargés localement du traitement de l'un de ces indicateurs suffit car les règles de décision encapsulées chez les agents sont pour partie fondées sur des arbitrages et des comparaisons des valeurs de ces indicateurs.

Ainsi complété par ces mécanismes, que nous appelons mécanismes de socialisation des agents parce qu'ils permettent de sensibiliser ceux-ci au souci de l'état courant de la solution représentative de leur situation collective, le modèle du réseau de

contrats devient à même de garantir le respect de critères globaux de cohérence de comportement des agents. Nous avons notamment montré que les modèles B.N.B-1 et B.N.B-2, tous deux conformes au cadre général du modèle du réseau de contrats, permettaient d'apporter des solutions à l'exemple paradoxé suggéré par Smith et Davis, ainsi qu'à un problème de répartition plus complexe que ce simple problème d'affectation.

Ces résultats ont été obtenus tout en restant dans le cadre d'une stricte conformité au principe de distribution du contrôle et des connaissances. Par les mécanismes précédemment décrits, une représentation de l'état global du système et un contrôle effectif de l'activité des agents en vue d'en assurer la cohérence de comportement sont obtenus tout en restant parfaitement compatible avec le modèle d'acteur qui constitue, paradoxalement, un outil d'implémentation spontanément ad hoc de ces modèles B.N.B.

"Actors are a local model of computation. There is no such thing as "action at a distance" nor there is any "global state" of all actors in the universe. Actors interact on a purely local way by sending messages to one another." [HEW 77]

Réciproquement, les principes qui sous-tendent ces modèles B.N.B., nous semblent susceptibles d'apporter des éléments de réponse au problème non résolu qui a, jusqu'à présent, limité l'utilisation des langages d'acteur en vue de l'élaboration de systèmes de résolution distribuée de problèmes: quelles méthodes est-il possible d'incorporer au script des agents en vue de garantir le caractère coopératif de leur comportement ?

Le domaine d'applicabilité de ces modèles B.N.B. nous semble cependant restreint en raison des limites fixées aux possibilités d'expression des critères de cohérence de comportement du système.

4) LIMITES DU MODELE BNB .

Les modèles distribués (réseau de contrats, langages d'acteurs), en leur état actuel, bien que trouvant leur origine dans la métaphore du groupe d'experts collaborant à l'élaboration d'une solution ([HEW 77], [KOR 81]), nous semblent cependant peu adaptés à l'élaboration de systèmes de résolution de problèmes caractérisés par leur distribution logique (par opposition à distribution fonctionnelle ou géographique) au sens où nous avons défini cette notion (multiplicité des perspectives sous lesquelles un même problème peut être posé). L'élaboration d'une solution pour de tels problèmes suppose, pour tout modèle fondé sur une représentation distribuée des connaissances (que le contrôle soit ou non lui aussi distribué), de résoudre un problème de **cohérence** (conflit *macro/micro* ou *cohérence globale VS connaissances limitées et actions locales*) irréductible à un simple problème de contrôle (cf. paragraphe II.1.3): une fois résolus les problèmes d'accès concurrents aux ressources, comment obtenir des agents qu'ils se comportent comme une équipe vis à vis du problème traité.

Un tel comportement globalement cohérent du système résultera de ce que les décisions prises par chaque agent conduisent, par agrégation des actions ainsi localement décidées, à la manifestation, vis à vis du problème traité, d'une rationalité collective, c'est à dire de la mise en oeuvre par le groupe considéré en tant qu'entité, d'une stratégie de résolution.

Son obtention suppose, à chaque étape du processus de recherche, de pouvoir répondre à la question: quel point de vue privilégier en l'état courant du problème et de sa solution ?

Ceci nécessite inévitablement d'avoir ménagé dans le système des espaces de représentation de:

- l'état courant du groupe et de la solution,
- de la rationalité collective (raisonnement sur cet état courant du groupe et de la solution): connaissances stratégiques.

Dans les modèles totalement distribués (connaissances et contrôle) qui ont fait l'objet de cette section, la difficulté s'en trouve fortement accrue puisque c'est au niveau de l'agent lui-même qu'il faudra "inoculer" les mécanismes, que nous avons appelés "mécanismes de socialisation", de représentation et de prise en compte de l'état du système et de sa rationalité globale.

A défaut de tels protocoles de résolution de problème au niveau macro et non plus seulement micro (comme la négociation), ces modèles ne nous semblent pas permettre l'élaboration de système de résolution de problèmes.

Les propositions correspondant au modèle BNB permettent d'apporter quelques éclaircissements:

- en posant le problème: nécessaire représentation de l'information globale même en univers distribué.
- en donnant des exemples de représentation distribuée de cette information globale.

Cependant, même accompagnés de ces propositions, ces modèles voient leur application confinée, non plus aux seuls problèmes décomposables (en sous-problèmes indépendants) pour lesquels l'exigence de cohérence globale n'est que faiblement requise, mais aux problèmes pour lesquels cette exigence de cohérence globale peut trouver à s'exprimer sous la forme d'un nécessaire équilibre général optimal, comme dans le cas des illustrations fournies par les modèles BNB-1 et BNB-2. En dépit de la limite ainsi franchie, ces propositions, en l'état, ne permettent pas d'implémenter, au niveau des agents eux-mêmes conformément au principe de distribution du modèle, les mécanismes qui conduiraient, au travers d'actions localement décidées, à la manifestation d'une stratégie de résolution.

5) INTERET EPISTEMOLOGIQUE .

Nous avons déjà antérieurement mentionné que, par certains des principes qui le sous-tendent, le modèle B.N.B. trouve son inspiration lointaine dans certaines théories économiques du siècle dernier. Les ruses de l'histoire ont ainsi voulu que ces théories, spécialisées dans l'étude des sociétés qui n'existent pas, ne trouvent, qu'avec un siècle de retard, un objet réel auquel enfin effectivement s'appliquer, les informaticiens étant en situation de donner quelque réalité à ces sociétés fictives.

La relation interdisciplinaire qui en résulte n'est pas univoque.

- L'I.A.D. peut trouver dans les théories économiques quelques sources d'inspiration fécondes. Comme le note Les Gasser:

"We can envision greater connection with economic approaches to coherent behavior, resource allocation, and task distribution than has been exploited in contemporary D.A.I. research." [GAS 88]

Ajoutons que les rares travaux [FOX 81] en matière d'I.A.D. ayant fait quelques emprunts aux théories économiques ne nous semblent pas jusqu'à présent avoir frappé aux meilleures portes. Gageons qu'en matière d'I.A.D. et de contrôle distribué les apports les plus fructueux viendront certainement des recherches économiques qui considèrent l'économie comme la théorie de la foule [DUP 83]:

"How to conceive of society as a self-organizing system. The economic solution to this problem also satisfies in principle the requirements of methodological individualism: society being nothing other than a composition effect produced by interactions among individuals. there exists no locus which would constitute the center of social regulation; the regulation mechanism

mechanism is "distributed" over the entire set of individuals... nowhere is it localized." [DUP 86]

- Réciproquement les modèles informatiques multi-agents à contrôle distribué, et particulièrement les langages d'acteurs, offrent des perspectives nouvelles aux recherches économiques.

"Cooperation, and more generally coordination, are complex and little understood phenomena. One approach to validating theories about such phenomena is to develop and test computer models that embody those theories. Just as AI systems are used to validate theories of problem solving and intelligence in linguistics, psychology, and philosophy, CDPS (Cooperative Distributed Problem Solving) systems can help validate theories in sociology, management, and organizational theory." [DUR 89]

La plupart des modèles économiques sont fondés sur des modèles de comportements individuels hérités de la théorie néo-classique et relevant de ce H. Simon appelle la *"rationalité substantive"* [SIM 86]: la décision a pour objet de maximiser une fonction objectif. Cette conception, fort contraignante en ce qui concerne la description des comportements, n'offre d'autre avantage que de fournir un outil mathématique simple permettant l'agrégation de ces comportements individuels. Les modèles informatiques de l'I.A.D. offrent la possibilité de se démarquer du modèle de l'économie néo-classique en passant à la *"rationalité procédurale"*: ils offrent le moyen de traiter les différences individuelles, les distributions de comportement et grâce à l'outil de simulation qu'ils constituent, ils permettent d'agréger les connaissances acquises au niveau de l'individu pour en déduire les conséquences au niveau de l'économie globale.

II.3

LE MODELE DU TABLEAU NOIR.

Dans cette troisième section, nous étudierons le deuxième type de modèle multi-agents ayant conduit à la réalisation d'applications significatives: le modèle du tableau noir.

Les mérites et limites de ce second modèle multi-agents seront discutés en regard de son aptitude à:

- apporter une solution au problème de comportement global cohérent du système (*conflit cohérence globale VS connaissances limitées et actions locales*) tel qu'il a été formulé dans la première section de ce chapitre.
- donner prétexte, au travers de cette solution, à répondre aux exigences liées aux particularités de l'expertise à représenter, telles qu'elles ont été formulées au chapitre I:
 - (a) représentation de points de vue multiples,
 - (b) comportement opportuniste du système,
 - (c) représentation de connaissances stratégiques,

de façon à traduire la notion de logique de situation caractéristique du domaine d'application.

Nous montrerons (cf. II.3.1) que ce modèle du tableau noir, comme modèle multi-agents, permet de retrouver les qualités (a) et (b) tandis que (c) n'est acquise (dans le cadre d'un modèle de contrôle de type hiérarchique) qu'à la condition d'enfreindre certains des principes de base du modèle.

Cette constatation nous amènera à poser les principes de l'architecture utilisée pour le prototype SIMFIDE: modèle de tableau noir à contrôle hiérarchique dans lequel est introduit le principe d'accompagner la franchise du contrôle (qui est le propre de ce type d'architecture), du principe de la franchise de communication de l'information de contrôle. La proposition ainsi faite d'une communication directe et bilatérale de l'information de contrôle entre agents de rangs hiérarchiques contigus est en contradiction avec deux des principes de base du modèle du tableau noir selon lesquels les agents ne communiquent qu'indirectement et sont *self activating*.

II.3.1 PRINCIPES.

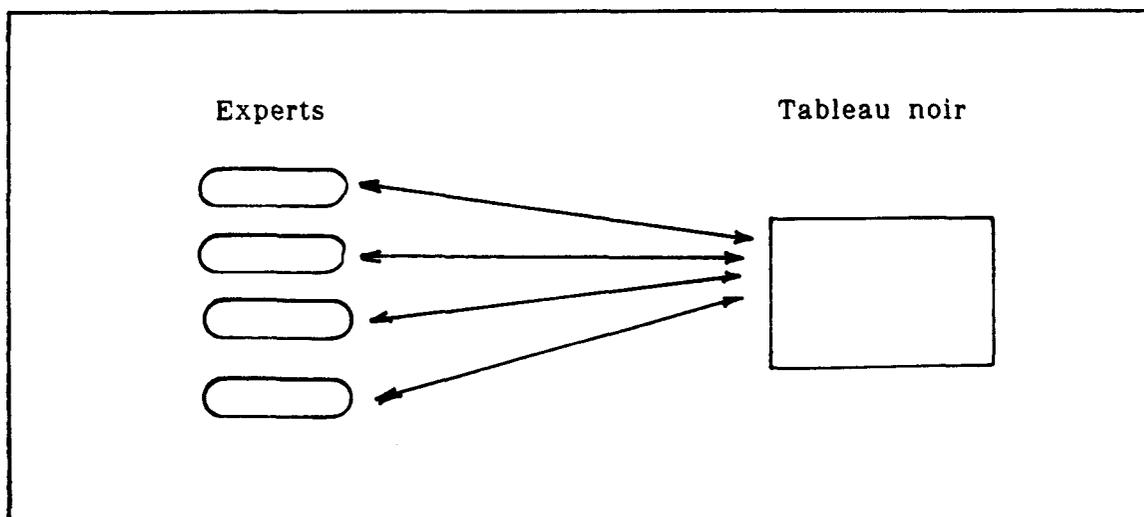
Le modèle du tableau noir a été utilisé pour la première fois dans le système HEARSAY II, système de compréhension de la parole continue développé à Carnegie Mellon University [ERM 80]. Il a été ensuite utilisé dans de très nombreux systèmes tels que HASP/SIAP [NII 82] et INTERSENSOR [MAR 83] pour la détection de vaisseaux sous-marins, VISIONS dans le domaine de la vision par ordinateur [HAN 78], OPM dans le domaine de la planification [HAY 79, 83b, 85], CRYSLIS [ENG 79] [TER 83] dans le domaine de la cristallographie, HEARSAY III [ERM 81], AGE [NII 79], BB1 [HAY 84] et ATOME ([HAT 87, 88a, 88b, 88c], [CHA 88a,88b]) outils d'aide au développement de systèmes à multi-bases de connaissances, ...

De l'étude de ce kaléidoscope d'applications et des principes sur lesquels elles se fondent (§ II.3.1), il ressort que le modèle du tableau noir conduit à une architecture sous-spécifiée (§ II 3.2.1): aucune solution n'y est clairement proposée concernant le problème du contrôle. Aussi les applications à base de tableau noir ne divergent-elles donc fondamentalement que par les solutions apportées à ce dernier problème. Les points communs aux architectures de tableau noir seront donc exposés indépendamment de toute application particulière (§ II.3.1), avant que ne soient présentés et discutés les divers types de solution apportée au problème du contrôle dans ce type d'architecture (§ II.3.2.2).

II.3.1.1 LA METAPHORE.

Tout comme les applications fondées sur le modèle du réseau de contrats, les architectures à base de tableau noir se situent dans le cadre du paradigme de l'I.A.D.: elles ont donc également vocation à traduire la façon dont serait résolu un problème complexe s'il était abordé par un groupe d'experts ayant chacun son domaine de compétence en relation avec le problème posé.

A la différence du modèle du réseau de contrats, l'existence d'une structure de données commune participe des principes de base du modèle du tableau noir.



Les experts se tiennent en effet face à un tableau noir qui leur sert à échanger leurs idées: chaque expert contribue à la résolution du problème en écrivant, modifiant ou supprimant des propositions au tableau. Celles-ci constituent progressivement une esquisse de plus en plus précise et complète de la solution en cours d'élaboration. Certaines de ces propositions, initialement disjointes, sont ensuite progressivement reliées dès lors qu'elles se complètent ou se confirment mutuellement...

Afin d'être tout à fait précis (en regard de la façon dont se concrétise effectivement cette métaphore dans les architectures à base

de tableau noir) deux aspects de cette scène méritent qu'on leur prête une attention toute particulière:

- Chaque expert est totalement indépendant des autres: pour ses interventions (leur moment et leur contenu), il ne compte ni ne s'en remet à ses collègues. Les interventions d'un expert donné ne dépendent que de ce qui se trouve inscrit au tableau: lorsqu'un expert peut réagir aux propositions qui y figurent, il le fait.
- A considérer le détail de l'implémentation des applications à base de tableau noir, il semble que nos experts soient lourdement handicapés. Ils se comportent en effet comme des sourds-muets, ne communiquant qu'en plaçant des informations au tableau sans jamais donc directement s'adresser la parole.

Ces deux derniers points traduisent un unique postulat:

La mutuelle ignorance des différents experts.

Ils sont sourds-muets ...parce qu'ils sont aveugles (tout au moins à la présence des autres).

Notons dès à présent que la métaphore qui vient d'être décrite ne peut donc servir de guide à la spécification d'une architecture logicielle que sur les deux aspects suivants:

- Le caractère distribué de l'expertise.
- Un protocole de communication entre les différentes sources d'expertise: interaction indirecte puisque médiatisée par le tableau noir.

En résumé, un système à base de tableau noir est un système dans lequel de multiples sources de connaissances indépendantes interagissent à travers une mémoire partagée.

En l'état, la métaphore est dès lors incomplète et l'architecture logicielle qui en découle sous-spécifiée: elle ne peut pas même "fonctionner" ne serait-ce qu'en tant que simple métaphore.

1) Qu'advient-il en effet si plusieurs experts décident (ils sont, rappelons le, parfaitement indépendants) d'intervenir au même moment et qui plus est éventuellement sur la même proposition inscrite au tableau. A défaut d'instituer quelques conventions sociales (sur la nature desquelles la métaphore ne nous fournit aucun enseignement) rien ne permettra d'éviter que l'harmonieuse scène précédemment décrite ne dégénère en un pénible pugilat pour l'accès au tableau noir et au bâton de craie...

2) Rappelons (cf. paragraphe II.1.3) qu'en matière de résolution distribuée de problèmes, la fonction dévolue au contrôle déborde la seule tâche technique de gestion d'accès concurrents à des ressources rares (le tableau et le bâton de craie dans l'image précédente): ce dernier problème étant résolu, il reste à faire en sorte que nos différents experts se comportent comme une équipe: le caractère non conflictuel des actions décidées n'est qu'une condition nécessaire et non suffisante de leur cohérence vis à vis du problème traité.

En d'autres termes, en matière de résolution distribuée de problèmes, l'exercice du contrôle conduisant à l'exploitation des ressources se doit d'être aussi prétexte à rendre opératoire une connaissance relative à la stratégie de résolution du problème.

Du silence de la métaphore sur ce sujet résulte inévitablement l'absence de référence commune en ce qui concerne le mode de contrôle global du processus de résolution dans les architectures à base de tableau noir.

La façon dont est traité ce problème du contrôle sera ainsi naturellement le critère de différenciation des architectures à base de tableau noir comme il sera montré plus loin.

II . 3 . 1 . 2 COMPORTEMENT COGNITIF ATTENDU

D ' UN SYSTEME A BASE DE TABLEAU NOIR .

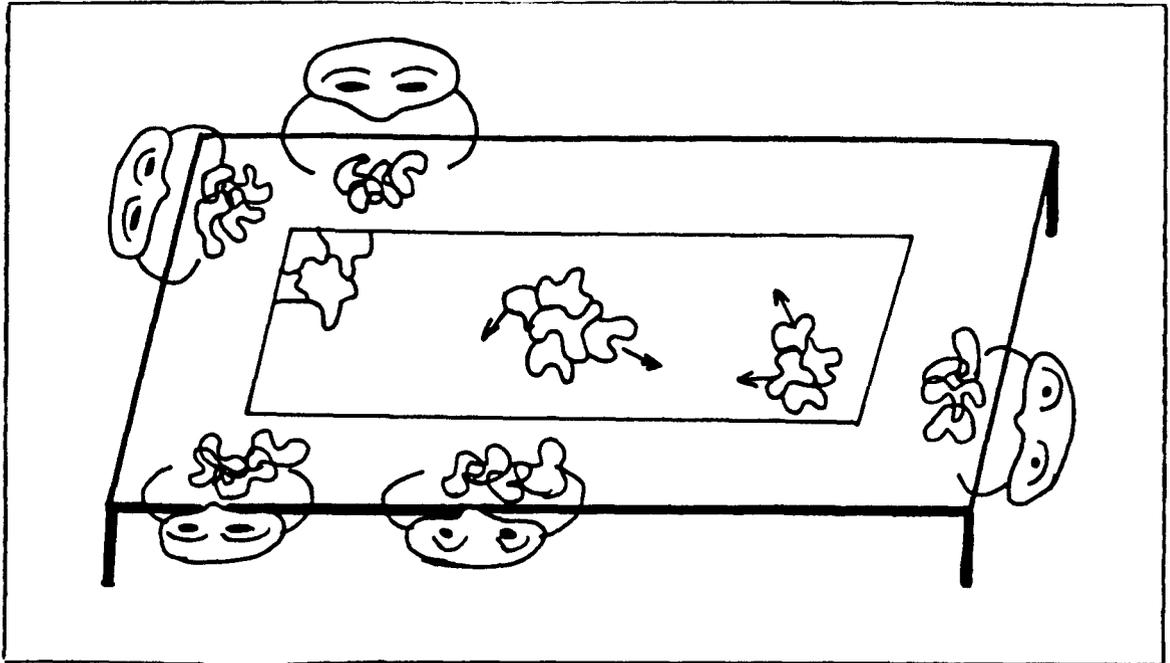
Une image (empruntée à [NII 86]) va nous permettre de commodément illustrer les mérites dont sont communément créditées les architectures à base de tableau noir.

Imaginons un algorithme capable de reconstituer un puzzle: rechercher, en testant systématiquement, et mettre à leur place l'élément du coin supérieur droit, puis les éléments constitutifs du tour, puis les éléments contigus au coin supérieur droit etc...

A l'évidence une telle procédure reconstituerait à l'identique tout puzzle.

Supposons maintenant le même problème "résolu" par un groupe dont chaque personne se tient autour du puzzle dont il détient un sous ensemble des pièces. Chaque membre du groupe ayant en main une pièce qu'il pense pouvoir placer le fait et modifie ainsi la solution courante. Cette modification ne manque pas de donner l'occasion à d'autres personnes d'intervenir à leur tour ...

Nii trouve dans cette image prétexte à illustrer les deux aspects précédemment mentionnés: tout le puzzle est reconstitué dans le plus complet silence (aucune communication directe n'est nécessaire entre les membres du groupe); de plus, sachant seul si l'une de ses pièces peut contribuer à la solution, c'est exclusivement de sa propre initiative que chaque membre du groupe décide d'intervenir (les experts sont parfaitement indépendants et *self activating*).



Remarquons en outre qu'à la différence du résultat obtenu par la méthode procédurale et centralisée, des puzzles différents se reconstitueront diversement en fonction des opportunités offertes par les traits saillants des images qu'ils représentent. Conséquence "classique" (cf. paragraphe II.1.2) du caractère distribué de l'expertise, mais aussi résultat de la possibilité nouvelle (par rapport au modèle du réseau de contrats) qui est donné à chaque expert de "voir", du fait de l'existence d'une structure de données commune, l'état courant de la solution, le processus d'élaboration de la solution obtenu dans le cadre qui vient d'être décrit sera réputé à la fois opportuniste et incrémental: il tirera partie des singularités du problème posé (processus opportuniste) pour trouver des points d'ancrage à partir desquels s'élaborera la solution (processus incrémental).

"The blackboard framework introduces some dimensions of expert system programming techniques that are difficult to achieve in other frameworks:

Dynamic control. In the blackboard framework, incremental formation of the solution is the norm.

Island driving. Because the entire current best hypothesis is visible to the knowledge source, a particularly interesting and

effective 'what next?' strategy is readily available. If some pieces of the solution/hypothesis seem to be complete, or well-developed with a high degree of certainty, these pieces can be treated as well-formed 'islands'. The strategy then focuses attention on building inferential 'bridges' between these islands. The emergence of islands redefines the solution space. Islands aggregate smaller solution elements. In addition, island driving focuses problem solving attention on important tasks, namely those reasoning steps that will link the islands together into a larger solution." [FEI 88].

II . 3 . 1 . 3 IMPLEMENTATION .

Passer du modèle conceptuel que traduit la métaphore précédemment présentée à la spécification d'une architecture suppose de se doter des moyens de concrétiser les éléments suivants:

- (1) Le tableau noir auquel recourent les experts.
- (2) Les propositions qui y sont inscrites.
- (3) Les relations qui lient ces propositions.
- (4) Les experts eux-mêmes.

1) LE TABLEAU NOIR .

Le tableau noir est une structure de données dans laquelle se trouvent enregistrés l'état de la solution courante et les étapes qui y ont conduit; elle contient donc les propositions qui y ont été placées par les experts. Cette information est à la fois nécessaire aux experts (pour réagir) et produite par les experts (comme résultat de leurs réactions).

Ces propositions sont des états dans l'espace de recherche exploré par les experts. Lorsque la solution est atteinte, se trouve mémorisé dans le tableau noir l'ensemble des tentatives faites par les experts pour parvenir à la solution.

Le tableau noir est structuré en raison et en fonction de la complexité du problème auquel il est dédié: sa structure hiérarchique, propre à chaque application, reflète la diversité des aspects d'un problème du domaine d'application et/ou des niveaux d'abstraction auxquels ce problème peut être abordé.

2) LES PROPOSITIONS .

A chaque niveau du tableau noir les propositions engendrées par les experts durant la résolution sont représentées par des structures de données appelées entrées, hypothèses ou noeuds suivant les applications.

Ces entrées et leurs propriétés constituent le "vocabulaire" de l'espace de recherche propre à l'application. Ces propriétés sont représentées par des couples <attribut, valeur>.

Chaque niveau du tableau n'utilise qu'un sous-ensemble du vocabulaire.

3) LES RELATIONS ENTRE PROPOSITIONS .

Les liens entre entrées d'un même niveau ou de niveaux différents (liens qui constituent ces hypothèses en "îlots de solution") font partie des attributs attachés aux entrées de telle sorte que le tableau noir peut être vu comme un réseau de noeuds.

4) LES SOURCES DE CONNAISSANCES .

Les entrées sont enregistrées dans le tableau par des sources de connaissances (SC) qui correspondent aux experts du modèle conceptuel précédent.

Les SC ne modifient que les entrées qui se trouvent au tableau (créer, détruire ou modifier une entrée) et seules les SC sont susceptibles de modifier ces entrées: toutes les modifications sont ainsi explicites et visibles.

Ces SC consistent le plus souvent (1) en couples <Condition,Action>.

La partie condition (d'activation) d'une SC décrit les situations (c.a.d. configurations particulières des entrées du tableau noir) dans lesquelles la SC peut contribuer à l'avancement de la résolution du problème: chaque SC est donc seule responsable de savoir quand elle peut intervenir. Conformément à la métaphore précédemment décrite, les SC sont indépendantes puisqu'elles ne réagissent qu'aux changements du tableau noir (et s'ignorent donc mutuellement).

La partie action spécifie la contribution de la SC une fois que cette dernière est activée.

Le mode de formalisme de représentation adopté pour le codage des SC varie d'application à application et de SC à SC pour une même application (procédure, règles de production, logique des prédicats).

La partie condition d'une SC a été implantée sous forme de programme Algol-60 dans HEARSAY-II et sous forme de prédicats dans HASP/SIAP. Dans BB-1, la partie condition d'une SC est divisée en deux sous-parties: un "trigger" qui spécifie quand le système doit s'intéresser à cette SC, et une précondition qui décrit les conditions

(1) Ce n'est notamment pas le cas pour le système CRYALIS

que doit vérifier cette SC pour être activée, une fois que le système s'y est intéressé.

La partie action d'une SC a été implantée sous forme de programme Algol-60 dans HEARSAY-II, par contre elle a été implantée sous forme d'ensembles de règles de production dans HASP/SIAP, CRYNALIS et BB-1.

II.3.2 PROBLEMATIQUE DU CONTROLE DANS LES ARCHITECTURES DE TABLEAU NOIR.

II.3.2.1 POSITION DU PROBLEME.

Le problème du contrôle en architecture de tableau noir est défini comme suit par Hayes-Roth [HAY 88]:

"In attempting to solve a domain problem, an AI system performs a series of problem-solving actions. Each action is triggered by data or previously generated solution elements, applies some knowledge source from the problem domain, and generate or modifies a solution element. At each point of the problem-solving process, several such actions may be possible. the control problem is: which of its potential actions should an AI system perform at each point in the problem-solving process?...Thus, in solving the control problem, a system determines its own cognitive behaviour."

Dans un modèle de tableau noir, le choix peut porter aussi bien sur la partie de la connaissance à utiliser, comme dans tout système où la représentation de l'expertise est distribuée, que sur la "région" du problème à laquelle il faudra appliquer cette connaissance

puisque le tableau noir permet d'entretenir une représentation de l'état courant de la solution. Pour être mené de façon éclairée ce choix suppose que le système puisse évaluer et comparer, sur la base d'informations de contrôle, les différentes alternatives qui lui sont offertes: stratégie à appliquer compte tenu de l'état de la solution courante, acuité et degré de résolution des différents sous-problèmes en suspens, pertinence des diverses sources de connaissances en regard de ces sous-problèmes etc... A cette fin, et à la différence des modèles totalement distribués (réseau de contrats ou modèles d'acteurs), le système dispose potentiellement, grâce au tableau noir, d'une telle information globale puisque celui-ci peut aussi représenter l'état courant du système.

En résumé, la mise en oeuvre du modèle du tableau noir suppose de résoudre, comme dans tout système multi-agents de résolution de problème (cf. paragraphe II.1.3), le conflit macro/micro ou *cohérence globale VS connaissances limitées et actions locales* qui n'est pas réductible à un problème de contrôle (au sens "classique" du terme). La différence (avec les modèles multi-agents totalement distribués) tient à ce que le modèle admet, dans son principe, l'existence d'une structure de données commune (le tableau noir), support obligé de la communication (qui est nécessairement indirecte entre agents mutuellement ignorants), mais qui, du même coup, peut potentiellement supporter cette information globale indispensable à la solution du problème de comportement global cohérent du système: l'état courant du système.

Comment rendre opératoire cette information ?

Le paradigme sur lequel se fondent les architectures à base de tableau noir n'offre à cet égard aucun point d'appui autour duquel pourraient graviter les applications construites sur ce principe: les éléments précédemment présentés (paragraphe II.3.1) leur sont donc communs à quelques variantes près tandis que les solutions apportées au problème du contrôle constitueront très naturellement le facteur fondamental de discrimination des architectures de tableau noir.

a) Incompatibilité tableau noir / contrôle distribué.

Comme il a été antérieurement montré (paragraphe II.1.4), dans un système multi-agents les pôles ci-dessous sont étroitement dépendants.

- modèle de communication (directe/indirecte)
- modèle de contrôle (distribué ou non)
- "aptitudes sociales" des agents

Il semble dès lors clair que la métaphore fondatrice du modèle du tableau noir:

ignorance mutuelle des agents	<---->	communication indirecte par tableau noir
-------------------------------------	--------	--

ne laisse que peu de place à la possibilité d'un contrôle distribué. Pour poursuivre la métaphore (et puisque le vocabulaire propre à la problématique des univers multi-agents est décidément très anthropomorphe), on pourrait dire qu'il y aurait quelques inconvénients majeurs à ce que la responsabilité du contrôle échoit aux aveugles sourds-muets précédemment décrits.

Aussi le sous-titre "*Distributed control in a blackboard system.*" de l'ouvrage de Craig [CRA 89] apparaît-il comme un paradoxe. Celui-ci se résout lorsqu'est introduite par l'auteur (1) la distinction entre contrôle local et contrôle global (2) suivie de l'indication suivante:

"Global control in completely distributed problem solving systems is a difficult and open problem, so the reader is warned not to expect any solution." (3)

(1) Au chapitre 4 section 7: The CASSANDRA control model.

(2) Le second se distinguant du premier par son caractère centralisé: "*In order to contribute effectively to the solution of a problem, it can often be necessary to provide a global control component.*" (p 121)

(3) p121. On notera également à la section 4.7.2 intitulée "Global control" le passage suivant: "*Cohérence is the most difficult aspect of distributed problem solving system: there is no generally agreed solution to the problem and, indeed none is suggested here. Coherence is a property of systems in which all problem solving components operate in a directed and 'harmonious'*"

b) Contrôle et tableau noir: formulation du problème.

Le modèle de contrôle distribué étant exclu de la problématique du tableau noir, demeurent possibles les modèles de contrôle centralisé et hiérarchique pour trouver solution à un problème pouvant être formulé dans les termes suivants:

• **Comment entretenir dans le système une connaissance de contrôle:**

(a) - pluridisciplinaire permettant la décomposition du problème initial: connaissance globale du processus de résolution.

(b) - portant sur le savoir faire des différentes expertises et leurs interactions possibles: connaissance de l'autre.

• **comment rendre opératoire cette connaissance de contrôle**

(c) - son application doit en effet permettre l'affectation des tâches aux agents et le contrôle de l'activité de ces derniers.

• **tout en restant dans le cadre d'un modèle fondé sur les principes suivants:**

(d) - caractère partiel des connaissances détenues par chaque agent.

(e) - mutuelle ignorance des agents du système.

(f) - communication exclusivement indirecte.

(g) - caractère *self activating* des agents.

fashion: in any system in which there are many agents , there is the possibility that their actions are somehow mutually interfering and not mutually supportive."([CRA 89] p126.)

On ne manquera pas de noter que:

(a) est largement incompatible avec (d)

(b) est largement incompatible avec (e)

(c) est largement incompatible avec (f)

(c) est largement incompatible avec (g)

La littérature concernant le modèle du tableau noir nous semble partiellement pouvoir être relue comme l'histoire d'une succession de tentatives en vue de maintenir la fiction de la compatibilité des propositions précédentes.

La solution du contrôle centralisé de type procédural est illustrée par HEARSAY-II, système de compréhension de la parole continue.

CRYALIS, système de modélisation de la structure tridimensionnelle de protéines, propose un modèle de contrôle de type hiérarchique.

Enfin BB-1, générateur de systèmes à base de tableau noir, repose sur un modèle de contrôle à base de tableau noir.

II . 3 . 2 . 2 MODELES DE CONTROLE DANS LES ARCHITECTURES DE TABLEAU NOIR .

1) CONTROLE CENTRALISE DE TYPE PROCEDURAL .

a) Principe du contrôle centralisé procédural.

Une architecture de tableau noir dont le contrôle est procédural résout le problème du contrôle par l'intermédiaire d'un programme complexe qui rassemble toutes les connaissances de contrôle. Ce programme est généralement composé d'un *ordonnanceur* et d'un *gestionnaire du tableau noir*.

- (1) Le rôle de l'ordonnanceur est de sélectionner la prochaine SC à activer en fonction de l'état global du tableau noir et des heuristiques de contrôle. Pour ce faire il dispose d'un agenda des SC exécutables et de procédures lui permettant d'évaluer les heuristiques de contrôle à partir de l'état de la solution courante mémorisée dans le tableau noir. Ces heuristiques sont utilisées pour calculer les priorités associées à chaque activité potentielle d'une SC et ainsi déterminer l'activité la plus prioritaire qui sera exécutée.
- (2) Le rôle du gestionnaire est de détecter les SC intéressées par les derniers changements intervenus dans le tableau noir et de les placer dans l'agenda.

**b) Modèle de contrôle centralisé procédural
dans le système hearsay-II.**

Le système HEARSAY-II (1) a été développé à l'université de Carnegie Mellon entre les années 1971 et 1976. Le but du système est de reconnaître une phrase prononcée (2) et de l'interpréter en tant que requête à une base de données.

*** Le tableau noir.**

Le tableau noir est partitionné en sept niveaux d'information distincts qui constituent une structure hiérarchique dans laquelle les éléments de chaque niveau peuvent être conçus comme des abstractions des éléments du niveau immédiatement inférieur (signal, segment, phonème, syllabe, ..., phrase, interface-base de données).

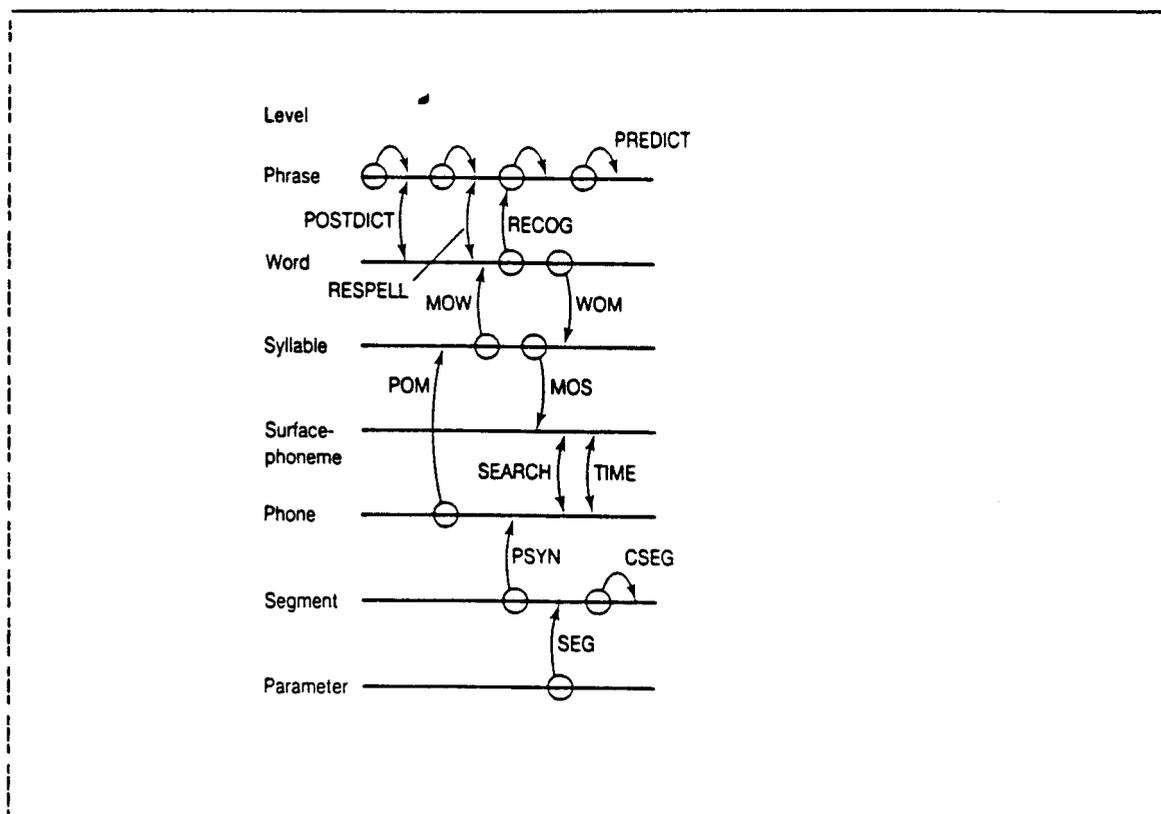
*** Les sources de connaissances.**

A la décomposition de l'espace de recherche en niveaux d'abstraction correspond la distribution de la connaissance en sources de connaissances distinctes. Les hypothèses possibles (3) à un niveau constituent un espace de recherche pour les SC opérant à ce niveau. Une solution partielle à un niveau (c.a.d. un réseau d'hypothèses) permet de réduire l'espace de recherche au niveau adjacent supérieur.

(1) La description qui faite ici du système HEARSAY-II est principalement issue de [LBS 77], [ERM 75], [HAY 77] et [ERM 80]. [HAY 77] traite plus particulièrement de la nature et de la gestion des informations de contrôle dans ce système.

(2) reconnaissance de la parole continue en temps réel.

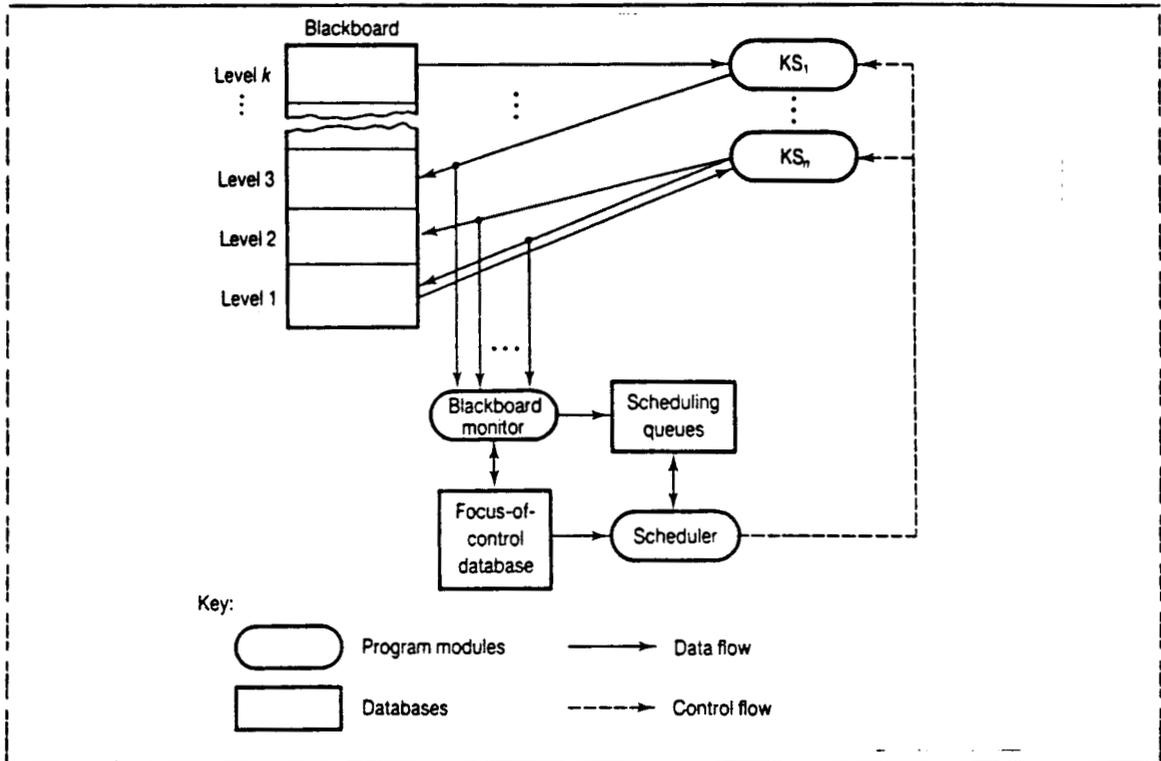
(3) Les entrées sont appelées hypothèses dans le système HEARSAY-II.



Les SC ont le format <Condition, Action> précédemment décrit. Chaque SC est dirigée par les données: elle scrute les modifications intervenues sur le tableau noir (événements) pour y détecter la présence d'une configuration d'hypothèses (propositions, valeurs de leurs attributs et liens qui les lient) correspondant au schéma décrit par sa partie condition. A chaque fois que cette condition est satisfaite la SC est instanciée (création d'un KSAR: Knowledge Source Activation Record placé dans l'agenda) pour opérer séparément sur chaque structure de données ayant motivé une telle instanciation. Deux champs supplémentaires sont associés à chaque instance de la SC: le "*stimulus-frame*" (SF) qui contient les hypothèses du tableau noir ayant satisfait la partie condition de la SC et le "*response-frame*" (RF) qui contient une estimation des travaux potentiels de la SC. En résumé, chaque SC peut être vue comme une "macro règle de production" de la forme [condition ==> action] dont chaque instanciation a la forme [stimulus-frame ==> response-frame] où RF est une évaluation du type (ajout d'hypothèse ou de liens, modification d'une hypothèse etc...) et de la localisation (région du problème) des changements qui

interviendront dans le tableau noir si la SC est effectivement amenée à être exécutée.

• Le contrôle.



Le gestionnaire du tableau noir est chargé de détecter les SC intéressées par les événements intervenus dans le tableau noir (1) et d'en placer le programme condition dans un agenda (scheduling queues).

Au début de chaque cycle, l'ordonnanceur calcule une priorité pour chaque activité (programme associée à la partie condition d'une SC ou programme associée à sa partie action) potentiellement exécutable figurant dans l'agenda. L'activité disposant du niveau de priorité le plus élevé est extraite de la queue pour être exécutée.

Si cette activité est un programme-condition d'une SC placée dans l'agenda par le gestionnaire du tableau noir et que la condition est vérifiée, l'ordonnanceur insère dans la queue une instance de sa partie action après mise à jour de ses champs SF et RF.

(1) il dispose à cette fin d'une table associant à chaque événement possible l'ensemble des SC intéressées.

Si cette activité est un programme-action d'une SC placée dans l'agenda par l'ordonnanceur lui-même, celui-ci est exécuté et le gestionnaire du tableau noir met à jour une structure de contrôle qui contient les changements qui sont intervenus dans le tableau noir puis repère les parties condition des SC intéressées par ces événements et les place dans l'agenda.

Le calcul des priorités associées aux activités est basé sur les 5 principes suivants [HAY 77]:

- (1) **Principe de compétition:** il vise à donner la faveur à la SC dont le response-frame propose les hypothèses les plus crédibles, de plus haut niveau dans la hiérarchie du tableau noir. et de durée la plus grande.
- (2) **Principe de crédibilité (validity principle):** il vise à favoriser l'activation des SC dont le stimulus-frame porte sur les hypothèses les plus crédibles.
- (3) **Principe d'importance:** l'action d'une SC peut être considérée comme d'autant plus importante qu'elle intervient à un niveau élevé du tableau noir. C'est le champ response-frame qui permettra de préjuger de ce niveau auquel interviendra la SC.
- (4) **Principe d'efficacité (efficiency principle):** il vise à favoriser les SC les moins coûteuses en temps d'exécution.
- (5) **Principe de satisfaction du but:** il vise à favoriser les SC dont l'action est la plus susceptible de satisfaire les buts courants du système.

Ces principes font intervenir de nombreux facteurs qui, une fois ramenés à des valeurs numériques pondérées et combinées, permettent le calcul de la désirabilité d'une SC à partir des caractéristiques de ses stimulus et response-frames. Leur mesure (associée à chaque instance de SC présente dans l'agenda) ne demeure pas nécessairement constante durant toute la durée de vie de l'instance de la SC et doit donc être recalculée à chaque événement intervenant dans le voisinage de la SF ou de la RF de la SC.

L'ordonnanceur intègre les procédures lui permettant d'évaluer, combiner et pondérer ces informations de contrôle.

c) évaluation.

L'architecture de type HEARSAY-II a servi de base à de nombreux travaux ultérieurs dont certains reprennent et prolongent le principe de l'ordonnanceur sophistiqué propre à ce système ([LES 81, 83]). Dans un tel système la solution au problème du contrôle repose entièrement sur les calculs de priorité réalisés par l'ordonnanceur.

Dans ce modèle les sources de connaissances peuvent être réputées *self activating* dans la mesure exacte où la connaissance de contrôle concernant les capacités de résolution de chaque agent est pour partie structurellement maintenue au niveau de l'agent lui-même grâce à la scission de chaque source de connaissances en deux parties:

<condition> <action>

où condition décrit:

- le contexte d'utilisation de la SC: *stimulus frames*
- les possibilités de résolution de la SC: *response frames*.

Mais une autre partie de cette connaissance, ainsi que le mécanisme qui la rend active, se situent dans le gestionnaire du tableau noir.

Celui-ci dispose en effet d'une table définie a priori qui associe à chaque événement possible (changement dans le tableau noir) l'ensemble des SC intéressées par ce type d'événement. Il en fait usage pour détecter les parties condition des SC intéressées par les types de changements effectués dans le tableau noir et les placer dans l'agenda des tâches à exécuter.



Enfin la connaissance de contrôle

- relative à l'interaction entre les activités des SC
- permettant l'affectation des tâches aux SC

se situe dans l'ordonnanceur chargé de calculer les priorités des activités à exécuter (c.a.d. qui ont été placées dans l'agenda par le gestionnaire du tableau noir) et de choisir l'activité la plus prioritaire.

L'ensemble de ce dispositif complexe permet donc d'éviter de rassembler la connaissance de contrôle dans un agent unique dont l'activité aboutirait à une activation directe des SC qu'il sélectionnerait en fonction de cette connaissance. L'existence d'un tel agent serait en effet en contradiction avec les canons du modèle de base.

La différence est cependant formelle puisque c'est bien l'activité conjuguée du gestionnaire du tableau noir et de l'ordonnanceur qui permet à une SC de s'exécuter. Les différentes indirections introduites dans le cheminement du flux de contrôle permettent toutefois de maintenir au niveau de l'agent lui-même une description partielle de la connaissance concernant ses possibilités de résolution (partie condition de la SC) d'une façon donc plus conforme aux principes du modèle (caractère *self activating* des agents).

Les apparences sont donc sauvées mais le prix à payer est élevé. La connaissance de contrôle est en effet à la fois dispersée (gestionnaire du tableau noir, table mettant en relation événements et SC, parties condition des SC) et dissoute dans le code de l'ordonnanceur (calcul des priorités): elle n'est plus qu'implicitement présente.

En conclusion, dans ce modèle les connaissances de contrôle ne disposent pas d'un espace de représentation propre par lequel elles seraient susceptibles de se rendre explicites. En d'autres termes, pour peu que le domaine d'application soit tel qu'une véritable connaissance de contrôle existe (existence d'une expertise portant sur la stratégie

de résolution du problème: connaissance stratégique), le modèle n'offre pas le moyen de la représenter. L'exemple du système Hearsay-II, où la "desirability" d'une SC est calculée à partir des caractéristiques de ses stimulus et response-frames en fonction des cinq principes précédemment mentionnés ([HAY 77]), illustre suffisamment la délicatesse et la complexité de l'alchimie à mettre en oeuvre pour obtenir du système le comportement souhaité. Cette complexité a d'ailleurs rendu l'ordonnanceur difficile à maintenir.

2) CONTROLE HIERARCHIQUE DECLARATIF -

Le contrôle hiérarchique dans les architectures de tableau noir a été introduit par le système HASP et son successeur SIAP développés par Nil et al. [NIL 82]. Ce projet marque une étape importante dans le développement des architectures à base de tableau noir.

"In the history of blackboard systems, HASP represents a branching point in the philosophy underlying the design of blackboard systems. Generally, later systems can be thought of as modifications of or extensions to either the HEARSAY-like or HASP-like design." [ENG 88]

Dans la même période une seconde application est développée à Stanford sous le nom de CRYALIS [TER 83,TER 88]. Destiné à retrouver la structure tridimensionnelle de protéines à partir de données obtenues par diffraction par rayons X, ce système reprend le principe des mécanismes de contrôle développés dans le cadre du projet HASP et y ajoute la notion d'organisation des SC en niveaux hiérarchiques.

En France, le CRIN (1) avec le système ATOME ([HAT 87, 88a, 88b, 88c], [CHA 88a,88b]) a élaboré un outil d'aide au développement de systèmes IA multi-sources de connaissances fondés

(1) Centre de Recherche en Informatique de Nancy.

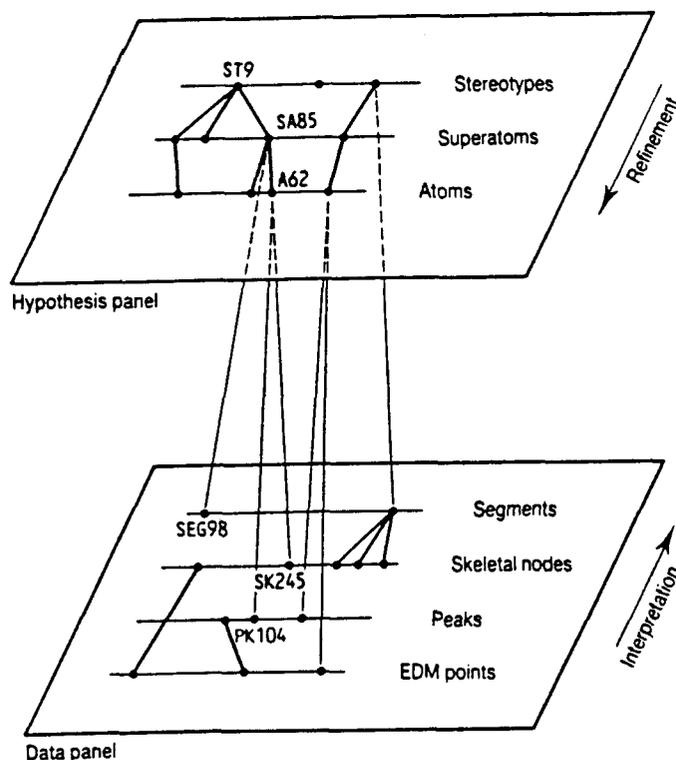
sur le modèle du tableau noir qui se situe dans cette lignée d'architecture à base de contrôle hiérarchique.

Le système CRYVALIS nous servira à présenter les principes du contrôle hiérarchique dans une architecture de tableau noir. Des informations complémentaires sur certains aspects des modalités d'implémentation de ce type de contrôle (gestion des informations de contrôle que sont les listes d'événements) seront tirées de l'expérience ATOME qui, fondé sur les mêmes principes que CRYVALIS dont il est très proche, s'en présente comme la généralisation: ATOME est un outil de développement de systèmes multi-sources de connaissances.

A) LE SYSTEME CRYVALIS .

a) Le tableau noir.

Dans CRYVALIS le tableau noir est double, chacun de ses deux plans étant classiquement hiérarchisé en niveaux d'abstraction.



Le plan données (Data panel):

Les informations qui y figurent sont les données du problème destinées à interprétation; elles sont générées par des prétraitements appliqués aux résultats obtenus par diffraction et ne sont pas modifiées par le fonctionnement même du système.

Le plan hypothèses:

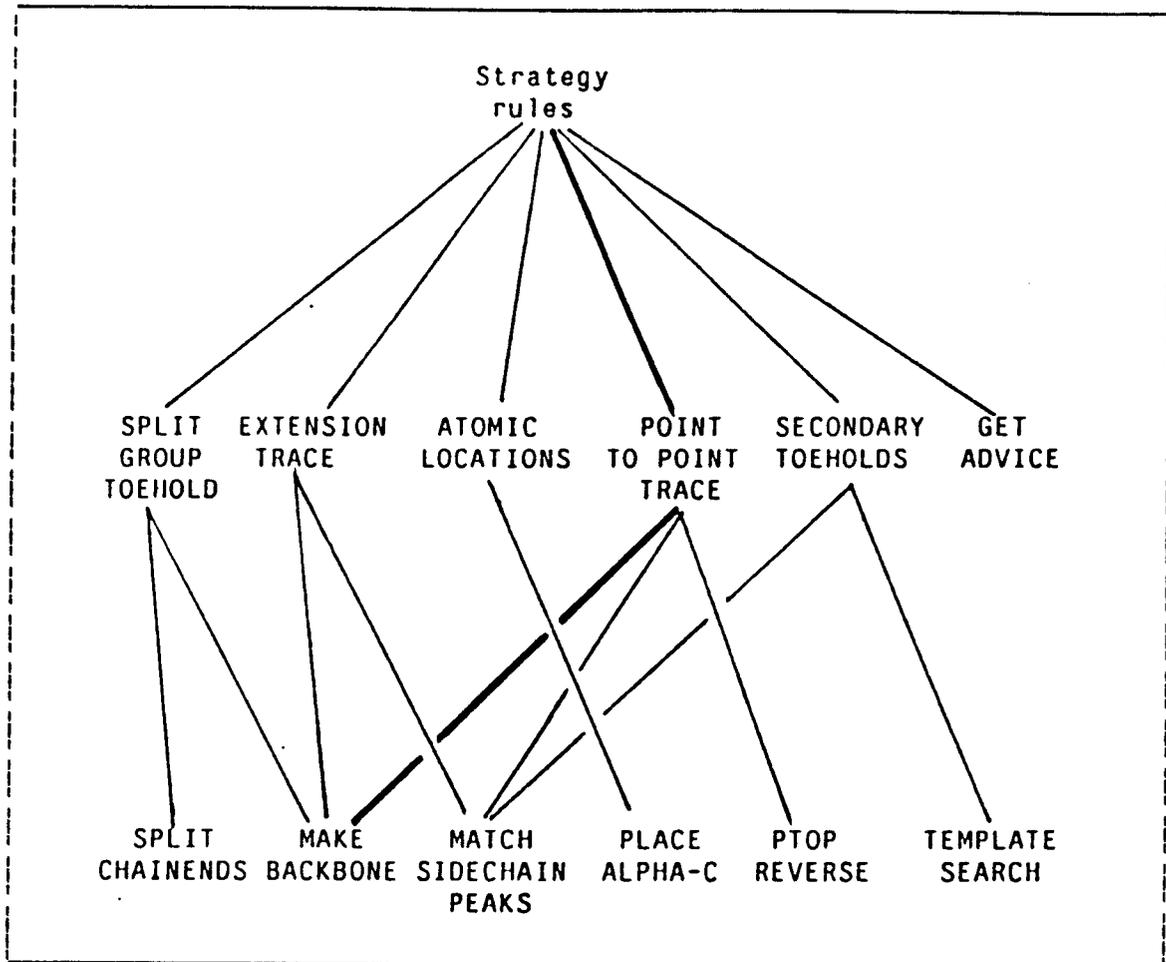
A l'opposé, tous les éléments (hypothèses) figurant sur ce second plan sont créés par le système. Ce plan est divisé en trois niveaux d'abstraction et le processus de génération d'hypothèses peut être vu comme un processus de raffinement, puisque le but de l'interprétation est une description au niveau atomique. Les hypothèses inscrites sur ce plan du tableau noir sont déduites des données du problème figurant sur le plan données et des hypothèses déjà émises.

b) Organisation des SC.

Les sources de connaissances, pour l'expression desquelles le formalisme des règles de production a été utilisé, sont hiérarchiquement organisées en trois niveaux.

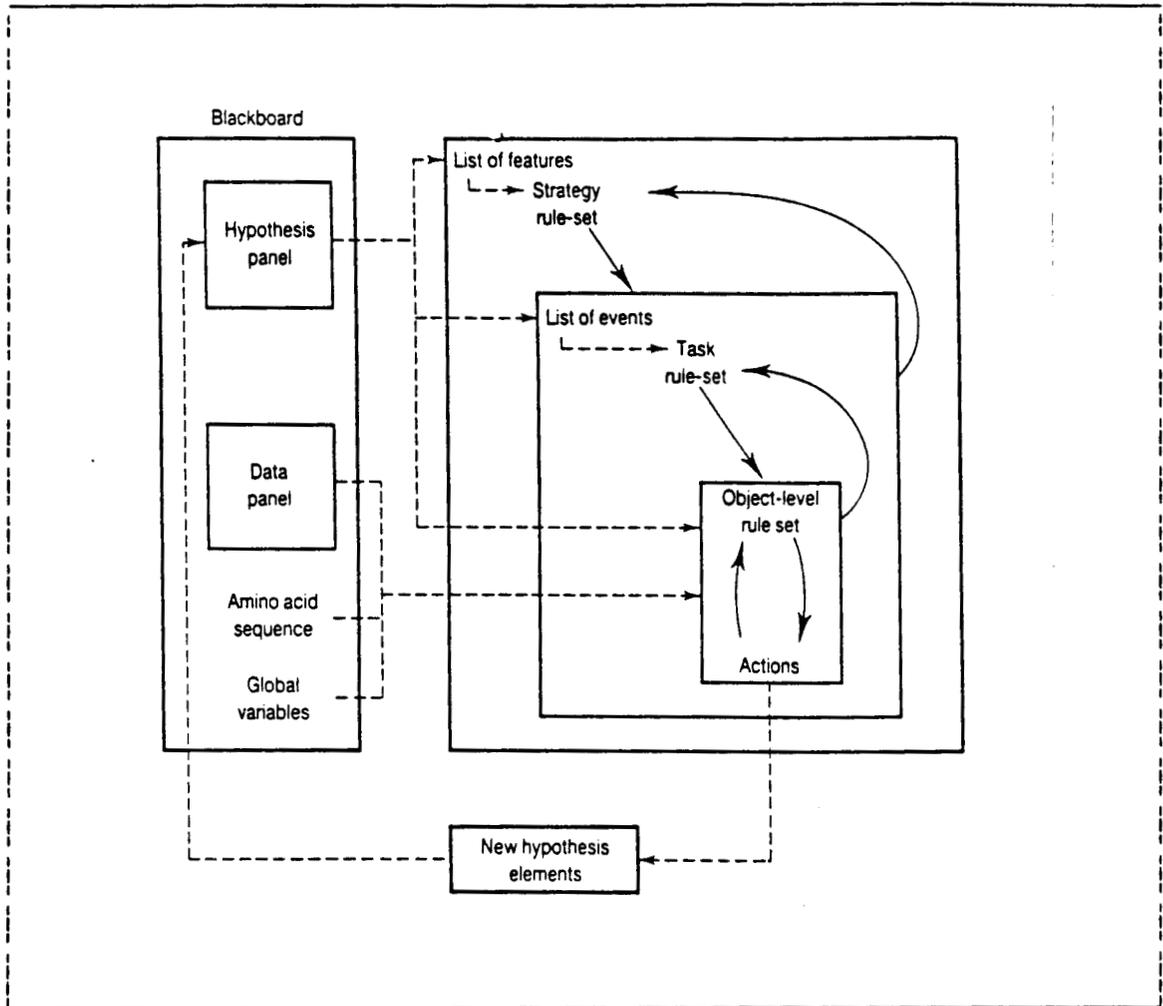
Les règles de chacun des deux niveaux supérieurs examinent la situation courante et sélectionnent des actions au niveau immédiatement inférieur. Seul le niveau le plus bas consiste en règles niveau-objet construisant effectivement la solution.

Les niveaux supérieurs consistent au contraire en règles de contrôle qui invoquent d'autres SC sans exécuter d'action au niveau-objet.



c) Modalités du contrôle dans un système de production hiérarchique.

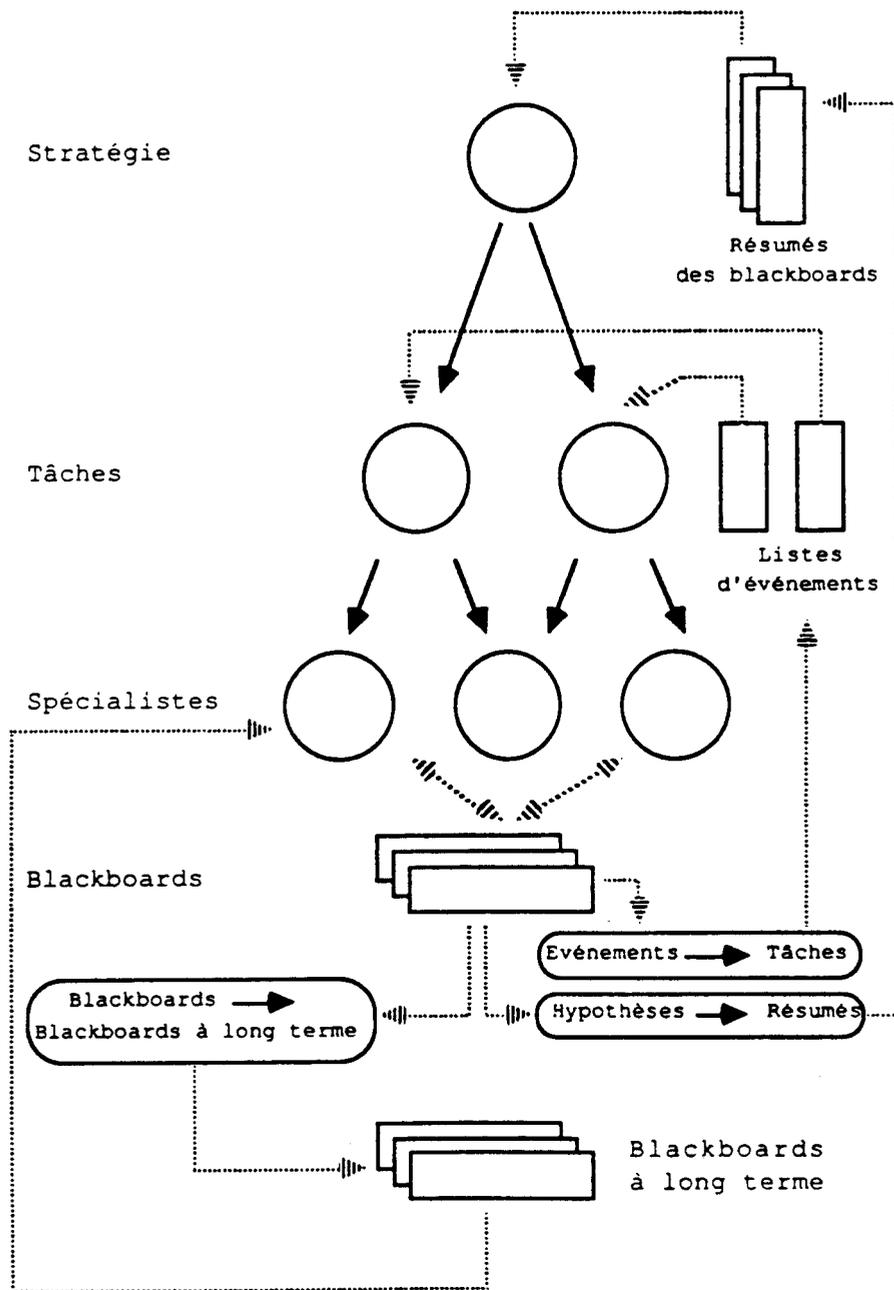
Le système CRYVALIS a recours à deux types d'informations de contrôle: une liste de caractéristiques (*list of features*) et une liste d'événements (*list of events*) exploitées par les règles des SC de contrôle des deux niveaux hiérarchiques supérieurs, respectivement la SC stratégie (*strategy rule-set*) et les SC de type tâches (*tasks rule-set*).



Les règles du niveau le plus élevé (strategy level) constituent une SC unique responsable de l'orientation d'ensemble du processus de résolution: pour ce faire celle-ci ne consulte pas directement les informations inscrites sur le plan hypothèse du tableau noir mais exploite un résumé de ces informations (*list of features*) qui est recalculé à chaque fois que le contrôle revient au niveau stratégique. La partie condition de ces règles stratégiques teste la présence de certaines configurations dans la liste de caractéristiques. Leur partie action consiste à invoquer une ou plusieurs tâches (chacune spécialiste d'un sous-problème) appartenant au niveau de contrôle inférieur. La règle stratégique focalise l'attention de la tâche sur la région du problème qui a motivé son déclenchement (configuration d'hypothèses dans la liste de caractéristiques). La tâche réagit (partie condition des règles appartenant aux SC de type tâche) uniquement aux changements intervenus dans le tableau noir: pour des

raisons d'efficacité un résumé de ces événements est disponible dans la liste d'événements. La partie action d'une règle appartenant à une SC de type tâche spécifie une séquence de SC niveau objet à exécuter en focalisant leur attention sur le ou les événements qui ont provoqué son activation. Cet enchaînement constitue le cycle de base de CRYSLIS illustré par la figure précédente.

B) LE SYSTEME ATOME .



Le modèle ATOME ([HAT 87, 88a, 88b, 88c], [CHA 88]), développé par une équipe du CRIN, se situe par son inspiration dans le sillage direct du système CRYVALIS dont il constitue le prolongement par les améliorations apportées (cf. [CHA 88b]) et la généralisation: ATOME est un système d'aide au développement de systèmes IA multi-sources de connaissances.

Comme dans CRYVALIS, les sources de connaissances d'ATOME, sont réparties en trois groupes: spécialistes, tâches et stratégie. Seuls les spécialistes ont accès au tableau noir.

Une tâche fournit un contrôle local pour coordonner le travail d'un ensemble de spécialistes. Pour ce faire, chacune d'elles, comme dans CRYVALIS, dispose d'une structure de contrôle locale appelée liste d'événements (l'équivalent de la *list of events* de CRYVALIS) où sont stockés les changements du tableau noir qui l'intéressent. En fonction de sa liste d'événements, chaque tâche sélectionne un ensemble de spécialistes et un ordre dans lequel elles vont être exécutées.

"Dans ATOME, chaque spécialiste gère la création des événements associés à ses propres actions dans les blackboards. Ceci est justifié par le fait que, par son expertise ou ses connaissances et par sa vision de la solution courante, elle est la seule capable de juger l'importance de ses propres actions." [LAA 89]

Les événements insérés par les spécialistes dans la liste d'événements globale sont ensuite redirigés vers des listes d'événements locales à chaque tâche en fonction d'un filtre associé à chaque tâche et qui lui permet de spécifier a priori le type d'événement par lequel elle est intéressée. A cette fin, les tâches ont la structure suivante:

<filtre sur les événements>, <base de règles>.

La stratégie dispose de même d'une structure de contrôle appelée résumé du tableau noir (l'équivalent de la *list of features* de CRYVALIS) qui lui offre une vue globale et synthétisée de la configuration du tableau noir. Le résumé du tableau noir ne contient que les informations jugées importantes pour la suite du processus de

résolution du problème. Des filtres sont décrits par le concepteur d'une application et chaque événement généré par un spécialiste y est confronté de façon à apprécier s'il doit ou non être intégré au résumé du tableau noir.

C) TABLEAU NOIR ET CONTROLE HIERARCHIQUE: EVALUATION.

Le système CRYVALIS se fixe clairement pour objectif de surmonter l'obstacle sur lequel avait buté le système HEARSAY II: parvenir, dans le cadre d'une architecture à base de tableau noir, à une représentation claire et explicite, des connaissances de contrôle:

" This chapter presents a program architecture that permits explicit use of expert strategies. More specifically, this chapter demonstrates one method for incorporating explicit strategies into a production system formalism... This control structure has been implemented using a blackboard architecture." [TER 88]

Un système de production hiérarchique défini suivant les principes du modèle CRYVALIS permet effectivement:

- Une représentation explicite et modulaire des connaissances de contrôle. La connaissance de contrôle acquiert le statut de connaissance à part entière et un espace de représentation propre lui est ménagé dans le système afin qu'elle puisse s'y décrire: il s'agit des bases de règles de la stratégie et des tâches.
- La mise en oeuvre d'un contrôle plus efficace que celui fondé sur des agendas avec recalcul systématique des priorités.

En contrepartie, ce modèle de contrôle hiérarchique nécessite de la part du concepteur de l'application une réelle expertise concernant les connaissances stratégiques de façon à en permettre la formalisation sous forme de bases de règles.

- Dès lors qu'une telle expertise existe il offre en outre l'avantage de la franchise du contrôle:

"If the expert's strategies are specific on what to do and when to do it, there should not be no need to wait until the action comes to the top of some agenda, or for the right goal to appear. Allowing a control rule to invoke a knowledge source gives the directness of procedural languages without sacrificing the spirit of the production rules formalism." [TER 88]

L'obtention de tels résultats est-elle possible dans les limites du modèle du tableau noir?

Il est à noter que les sources de connaissances du système CRYVALIS, à la différence de tous les autres systèmes fondés sur le modèle du tableau noir, n'ont pas le format:

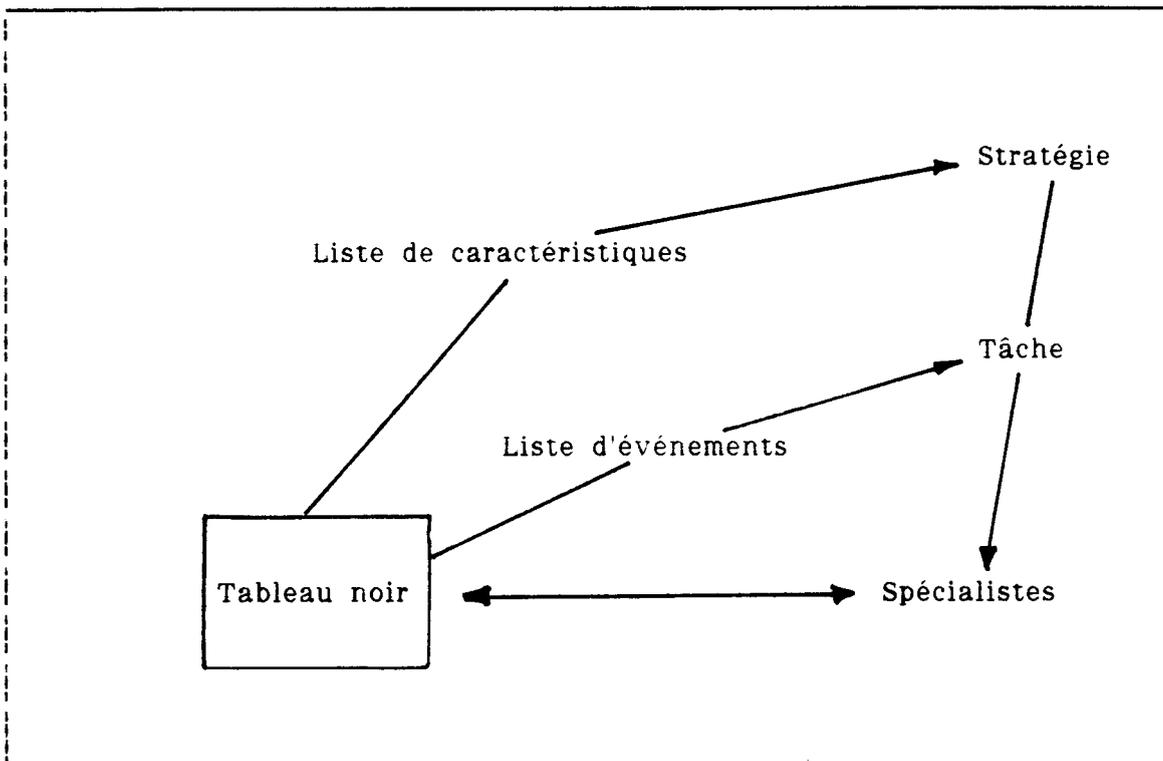
<condition> <action>

Elles sont en effet réduites à leur partie action (sous forme de bases de règles) et ne peuvent donc pas spécifier les conditions sous lesquelles elles peuvent effectivement contribuer à la résolution du problème: elles ne sont plus *self activating*. Pour cette raison, Penny Nii dénie au système CRYVALIS le statut de modèle à base de tableau noir à part entière: il n'est qu'un *blackboard-like system* [NII 86b].

Deux autres principes du modèle de base s'en trouvent du même coup écornés. Ces sources de connaissances, à défaut d'être *self activating*, sont éveillées par d'autres qui donc ne les ignorent pas (puisqu'elles en connaissent les possibilités de résolution) et communiquent directement avec elles (afin de les activer). Ainsi un contrôle à la fois clair (représentation explicite des connaissances de contrôle) et efficace n'a-t-il pu être acquis qu'à la condition d'excéder les limites imposées par certains des principes du modèle de base: la mutuelle ignorance des agents du système et la communication exclusivement indirecte.

Cette communication directe (de la stratégie vers les tâches et de ces dernières vers les spécialistes) est unilatérale. Cependant les sources de connaissances de contrôle du système (stratégie et

tâches) ne sauraient prendre de décision sans être tenues informées du résultat de l'activité des agents de base du système (les spécialistes). Cette information ne pouvant leur être communiquée directement (conformément au principe du modèle), elle leur est transmise indirectement via les structures de contrôle que sont la liste d'événements (à disposition des tâches) et la liste de caractéristiques (à disposition de la stratégie). Enfin **aucun protocole de communication n'est prévu pour la communication inter-tâches**. Au total, il en résulte un modèle global de communication dans le système dont l'uniformité n'est pas la qualité la plus apparente.



En effet:

- La stratégie communique directement avec les tâches mais celles-ci ne peuvent communiquer avec la stratégie.
- Les tâches communiquent directement avec les spécialistes mais ceux-ci ne peuvent communiquer directement avec les tâches.
- Les spécialistes peuvent indirectement communiquer entre elles mais les tâches ne le peuvent pas.

- * Les spécialistes peuvent indirectement communiquer avec les tâches et la stratégie.

Un inconvénient découlant de ce défaut d'uniformité du modèle de communication dans le système nous semble devoir être souligné. Il tient à l'**incommunicabilité inter-tâches**.

La liste globale d'événements est une structure de données partagée par l'ensemble des sources de connaissances de rang intermédiaire et les événements qui s'y trouvent mémorisés sont ventilés vers l'agenda personnel de chaque tâche en fonction du filtre qui lui est associé. Celui-ci est structurellement extérieur à la base de règles de la tâche et aux connaissances qui y décrivent les actions que peut entreprendre cette tâche.

Les tâches ne pouvant directement s'adresser, la liste globale d'événements, structure de données qui leur est commune, est de fait, mais implicitement, le tableau noir à usage des sources de connaissances de contrôle de type tâche.

Il présente la particularité suivante (cf. l'exemple ATOME):

Les tâches ne peuvent user de leurs connaissances:

- ni pour y lire, puisque le filtre intervient préalablement à l'activation de la base de règles.
- ni pour y écrire, puisque ce sont les spécialistes qui ont la responsabilité de générer les événements.

Cette structure de données, qu'est la liste globale d'événements, assure exclusivement une communication verticale, de chaque spécialiste vers l'ensemble des tâches, et aucune communication n'est possible entre les tâches.

Ces dernières ne peuvent donc pas directement (c.a.d. en fait indirectement puisque via une structure de données commune) interagir et mutuellement s'influencer puisqu'elles sont privées de la possibilité de rendre visible à leurs collègues le résultat de leurs réflexions. Ceci vient écorner ce qui nous semble l'un des principes du modèle,

principe sur lequel se fonde son caractère opportuniste et qui veut que l'ensemble des activités d'un groupe d'experts privés de communication directe soit visible à tous.

A titre d'exemple supposons qu'une tâche commande un spécialiste pour une activité donnée et que ce dernier se révèle ne pas pouvoir contribuer à l'activité de la tâche. Deux situations sont envisageables:

- . aucun événement n'est généré par le spécialiste et le contrôle est rendu à la tâche.
- . un événement est généré et placé dans la liste globale d'événements par le spécialiste qui restitue ensuite le contrôle à la tâche.

Dans l'une et l'autre situation, la tâche se trouve dans l'incapacité, après avoir recouvert le contrôle, de raisonner sur les conséquences de l'état de blocage du spécialiste puisque cette information lui est définitivement ou momentanément inaccessible. La tâche est ainsi mise dans l'impossibilité de pouvoir par exemple détecter, après qu'elle ait recouvré le contrôle, que ce premier blocage induit celui d'un autre spécialiste (connaissances sur les relations et interactions entre les activités des spécialistes) et ne pourra donc pas mettre cette information à disposition des autres tâches via le plan correspondant du tableau noir.

Enfin ce défaut d'uniformité du modèle de communication a pour corollaire un défaut d'uniformité des comportements et structures des agents (suivant leur place dans la hiérarchie des sources de connaissances du système) nuisible à la généralité de l'architecture d'ensemble. Qu'advient-il de l'outil ATOME (outil général de développement de systèmes multi-agents intelligents) dans les cas où l'expertise ne justifie pas la notion de tâche ou si le niveau "sous-sous-problème" se révèle être pertinent ?

3) MODELE DE CONTROLE HIERARCHIQUE A BASE DE TABLEAU NOIR .

HEARSAY-III [ERM 81, BAL 80] fut le premier système à avoir introduit l'idée du contrôle à base de tableau noir: bien qu'il s'agisse d'un système générateur de systèmes à base de connaissances, et non dédié à la reconnaissance de la parole, il s'inspira fortement de l'architecture de Hearsay-II et bénéficia de l'expérience acquise.

"One of the experiences gained with the Hearsay-II project was the complexity of the scheduling of knowledge sources. As Hearsay-II evolved, the special-purpose of the scheduling mechanism had become progressively more complex. As a result, a major aim of Hearsay-III was to make control of the system a knowledge-based procedure in its own right, using a separate scheduling blackboard to make control information visible and accessible to schedule knowledge sources." [ENG 88]

Ce même souci transparaisait déjà dans le projet OPM [HAY 79]. Ces idées sont formalisées par B. Hay-Roth [HAY 85] et se concrétisent véritablement avec l'élaboration du système BB1 [HEW 87]. BB1 prolonge le travail initié avec Hearsay-III en faisant du contrôle une activité à base de connaissances à part entière et de rang supérieur utilisant sa propre architecture de tableau noir pour contrôler l'exécution des sources de connaissance du domaine. Ce système a par ailleurs exercé une forte influence sur d'autres applications plus récentes: ERASMUS [JAG 87] et BB* [HAY 86] notamment.

a) Les tableaux noirs.

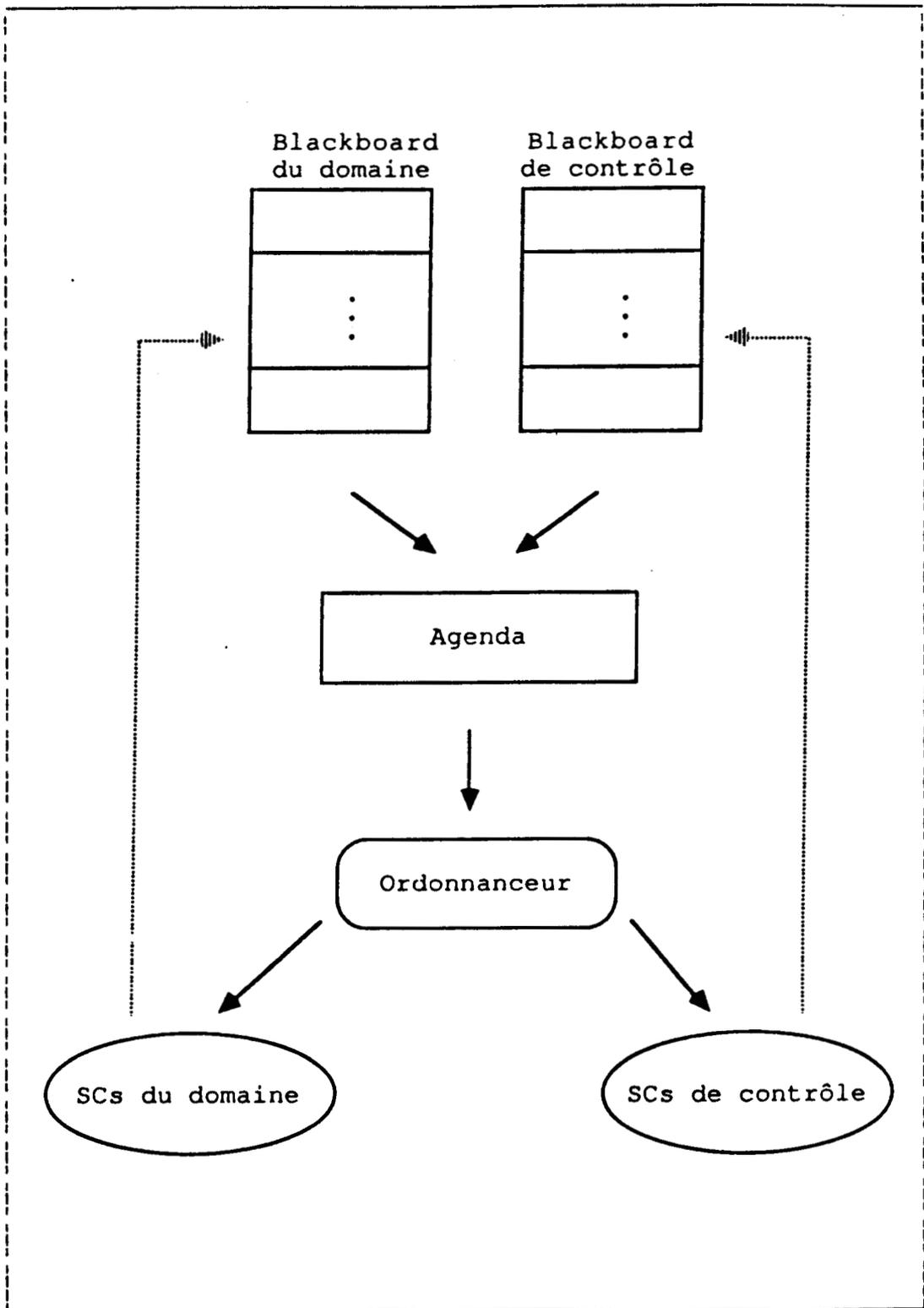
BB1 introduit deux tableaux noirs: le tableau noir du domaine qui joue un rôle identique au tableau noir classique des architectures à contrôle procédural centralisé, et le tableau noir de contrôle dans lequel des sources de connaissances de contrôle, fonctionnellement indépendantes, élaborent dynamiquement des plans de contrôle du comportement du système.

Les différents niveaux de ce tableau noir de contrôle sont prédéfinis dans BB1 et sont indépendants de l'application en cours de développement: La dimension verticale du tableau représente les décisions de contrôle à différents niveaux d'abstraction de telle sorte que les décisions figurant dans les niveaux les plus élevés sont plus générales et se maintiennent pendant une période plus longue de résolution du problème. Le **niveau stratégie** peut contenir plusieurs stratégies compétitives, complémentaires ou indépendantes. Toute stratégie détermine des décisions de focalisation d'attention: le **niveau objectif** mémorise les objectifs qui concrétisent la stratégie adoptée au niveau supérieur. Plusieurs objectifs peuvent être compétitifs, complémentaires ou indépendants. Enfin le **niveau heuristique** enregistre et décrit la façon dont les **coefficients** (coût, fiabilité etc...) associés aux sources de connaissances doivent être évalués et combinés de façon à implanter les objectifs fixés au niveau adjacent supérieur. Le mécanisme de contrôle utilise ces heuristiques pour sélectionner, dans une file de SC en attente d'être activées, la meilleure source de connaissances, c'est à dire celle qui répond le mieux à la stratégie et aux objectifs spécifiés par le plan de contrôle correspondant à l'état courant du tableau noir de contrôle.

b) Les sources de connaissances.

Aux deux tableaux noirs sont associées deux classes de sources de connaissances:

- * Les sources de connaissances du domaine ayant accès au tableau noir du domaine et qui sont l'équivalent des sources de connaissances des architectures à contrôle procédural. Elles sont spécifiques au domaine d'application.
- * Les sources de connaissances de contrôle qui accèdent au tableau noir de contrôle et qui, pour certaines d'entre elles, ne sont pas spécifiques au domaine d'application (sources de connaissances de contrôle génériques).



La structure des SC est uniforme dans BBI. Toutes les SC, quelles soient du domaine ou de contrôle, ont le format général <condition, action>. Les SC sont principalement caractérisées par les éléments suivants:

Une **partie condition** qui est elle-même divisée en deux champs:

Le champ **trigger**: il spécifie quand le système doit éveiller la source de connaissance sous forme de test portant sur les événements intervenus dans le tableau noir (du domaine ou de contrôle).

Le champ **précondition** qui décrit les conditions supplémentaires que doit vérifier cette source de connaissances pour être effectivement activée.

Une zone **contexte** décrit les différents contextes du tableau noir dans lesquels la SC peut être instanciée.

La partie **action** d'une source de connaissances est une base de règles de production dont les parties gauches sont constituées de tests portant sur des hypothèses du tableau noir et les parties droites spécifient un ensemble de modifications à apporter aux entrées figurant au tableau noir modifications dont les valeurs ont été précisées durant les phases d'éveil, d'identification du contexte et de vérification de la précondition ("*triggering*", "*context matching*" et "*precondition matching*").

Enfin sont associés à chaque SC des paramètres **coût** (d'activation) et **fiabilité** (des résultats).

c) Le contrôle.

Aux différents états possibles d'une SC correspondent plusieurs agendas gérés par le mécanisme de contrôle. Les deux plus importants, parce que seuls pris en compte par le mécanisme de résolution (1), sont l'agenda des SC éveillées (*triggered-list*), et l'agenda des SC exécutable (*invocable-list*) dont la partie condition (les deux champs trigger et précondition) est vérifiée.

(1) Deux autres agendas (SC rejetées et SC exécutées) sont exploités par le mécanisme explicatif.

L'exécution du système BB1 se réalise au travers du cycle de contrôle de base suivant:

- **Interprétation:** exécuter la SC classée prioritaire dans la liste des SC activables et créer sur le tableau noir les événements engendrés par les actions effectuées.
- **Mise à jour des agendas.**
- **Sélection:** Choisir la prochaine SC à exécuter parmi celles qui sont présentes dans l'agenda des SC exécutables. Ce choix suppose préalablement d'évaluer puis de combiner, pour chaque SC exécutable, le résultat de l'application des heuristiques et des objectifs opérationnels tels qu'ils sont spécifiés par le plan de contrôle figurant au tableau noir de contrôle.

Ce cycle de contrôle se poursuit jusqu'à ce que soit vide l'agenda des SC exécutables.

d) Evaluation.

Le système BB1 constitue une seconde réponse au problème de défaut d'expression du contrôle rencontré dans le cadre du modèle HEARSAY II.

Comme dans CRYNALIS, les connaissances de contrôle y disposent d'un espace propre de représentation: les SC de contrôle.

Le modèle proposé dans le cadre du système BB1 diffère cependant de celui proposé par le système CRYNALIS sur trois points. A la différence du système CRYNALIS, cet espace de représentation du contrôle a pu être ménagé dans le système:

- (1) en maintenant l'uniformité globale de l'architecture.
- (2) en accord avec les principes de base du modèle du tableau noir.
- (3) sans remodelage de l'ensemble du système autour d'une structure hiérarchique.

(1) **l'architecture globale est uniforme** alors que le modèle CRYSALIS est foncièrement asymétrique. En effet:

- Toutes les sources de connaissances, qu'elles soient du domaine ou de contrôle ont la **même structure** et respectent un **même modèle de communication**; aussi l'ordonnanceur les gère-t-il indépendamment de leur type.

(2) **Cette structure et ce protocole de communication communs sont en accord avec les canons du modèle du tableau noir:**

- toutes les SC ont la même structure syntaxique:
<condition> <action>
- communication exclusivement indirecte via le tableau noir dédié aux sources de connaissances du niveau considéré.

(3) **Absence de structuration hiérarchique du système.**

- *Absence de relation hiérarchique entre les deux tableaux noirs.*

Le tableau noir de contrôle ne contient pas une synthèse des informations inscrites sur le tableau noir du domaine: ces deux tableaux noirs sont juxtaposés et indépendants. Les SC du domaine raisonnent sur des informations spécifiques à l'application en cours de développement, alors que les SC de contrôle raisonnent sur une **autre** information: les différents niveaux du tableau noir de contrôle sont d'ailleurs prédéfinis et indépendants du domaine d'application. Dans CRYSALIS, au contraire, les *list of events* et *list of features*, qui pouvaient être conçues comme des mémoires partagées, accessibles en lecture seulement, par les SC de contrôle (stratégie et tâches respectivement) entretiennent des relations hiérarchiques puisqu'elles sont des synthèses successives (à des niveaux d'abstraction de plus en plus élevés) des informations contenues dans le tableau noir du domaine.

- *Absence de relation hiérarchique entre les deux classes d'agents du système.*

Dans CRYNALIS, tâches et spécialistes constituent deux groupes distincts vérifiant chacun le principe de mutuelle ignorance (intra-groupe). En revanche, une relation existe entre les agents des deux classes: les tâches "connaissent" les spécialistes et, pour ce qui est de l'activité de ces derniers, ce sont bien les tâches qui "tirent les ficelles". Au contraire, dans BB1, les SC du domaine et les SC de contrôle constituent une seule et même "foule" respectant le principe d'anonymat propre au paradigme du tableau noir.

D'une part, face à l'ordonnanceur, les deux types de sources de connaissance se trouvent sur un pied d'égalité: l'ordonnanceur les gère uniformément dans une même boucle de contrôle de base, indépendamment de leur type. Les SC de contrôle se trouvent donc en compétition avec les SC du domaine.

D'autre part, dans BB1, le principe d'anonymat s'applique aussi bien intra-groupe qu'inter-groupe. Conceptuellement, ces agents peuvent donc être rassemblés en un seul tout: une foule unique d'agents s'ignorant mutuellement. De ce point de vue, la seule différence tient, paradoxalement, à ce que l'incommunicabilité est plus totale entre agents de groupes distincts. La communication qui n'est qu'indirecte entre agents d'un même groupe, devient absolument absente entre agents appartenant à des classes distinctes. La juxtaposition des deux tableaux noirs indépendants assure une étanchéité complète au cloisonnement inter-groupe.

Toutefois, pour que les SC de contrôle méritent cette désignation (et contrôlent "quelque chose" , c'est à dire finalement quelqu'un), il faudra bien qu'en dépit des cloisonnements qui viennent d'être décrits, le flux de contrôle puisse atteindre les agents du système. Ceci est obtenu grâce à une indirection: au lieu de circuler directement de la sphère de contrôle vers la sphère du domaine, le flux de contrôle transite par l'ordonnanceur du système.

Il nous semble devoir en résulter un contrôle à la fois faible et inefficace.

* **CONTROLE FAIBLE.**

C'est à l'ordonnanceur qu'il appartient d'appliquer les décisions prises par les SC de contrôle et qui figurent sur le tableau noir de contrôle. A chaque pas de la boucle de contrôle de base, l'ordonnanceur a à charge de choisir la prochaine SC à exécuter parmi toutes celles qui sont présentes dans l'agenda des SC exécutables. Pour cela, il doit:

Evaluer le résultat de l'application de chaque heuristique opérationnelle sur toutes les instances de SC figurant dans l'agenda.

Evaluer le résultat de l'application de chaque objectif opérationnel sur toutes les instances de SC exécutables. Pour ce faire, les résultats des heuristiques implantant un objectif sont combinés et permettent ainsi de déterminer la valeur attribuée par cet objectif à chaque SC.

Déterminer la priorité finale de chaque SC en combinant les résultats précédents.

Enfin, l'ordonnanceur choisit la SC la plus prioritaire.

Il en résulte que les SC de contrôle "contrôlent sans le savoir": elles prennent des décisions dont les modalités d'application autant que les conséquences leur échappent complètement et restent extérieurs à leur horizon de visibilité. Il s'agit en quelque sorte d'un contrôle inconscient et limité à l'exercice d'une influence sur l'ordonnanceur du système.(1)

Dans BB1 la connaissance de contrôle est explicitement représentée, mais l'expression ou la traduction effective de la connaissance de contrôle ainsi explicitement représentée ne peut, quant à elle, que demeurer implicite.

(1) C'est dans la mesure où ce contrôle est "inconscient" qu'il peut être sans problème réflexif (puisqu'il s'applique aux SC de contrôle elles-mêmes). Dans un tel cadre, cette réflexivité n'impose pas d'entretenir chez l'agent responsable du contrôle un modèle de l'ego ou de l'alter ego.

• INEFFICACITE DU CONTROLE.

Le modèle de contrôle de BBI est particulièrement coûteux en temps d'exécution. Chaque exécution de la boucle de contrôle de base du système inclut une phase de mise à jour des agendas qui permet de décrire les mouvements des SC à travers les deux agendas du système:

- déplacer toutes les SC exécutables ayant une précondition non valide vers l'agenda des SC sélectionnées.
- déplacer toutes les SC sélectionnées ayant une précondition valide vers l'agenda des SC exécutables.
- pour chaque SC réveillée (*trigger*) par les événements du cycle précédent, créer des instances des SC et les insérer dans l'agenda des SC sélectionnées ou des SC exécutables selon la validité de leur précondition.

Cette phase de mise à jour des agendas exige donc un parcours exhaustif de toutes les SC du domaine et de contrôle à la recherche de celles qui ont leur partie condition satisfaite. Enfin, à chaque pas de boucle, cette phase de mise à jour des agendas est suivie d'une phase de sélection d'une SC qui exige d'effectuer de nombreux traitements numériques afin d'évaluer les priorités des SC présentes dans l'agenda des SC exécutables.

La lourdeur de ce processus aveugle, qui est une conséquence de la faiblesse du contrôle précédemment évoquée, n'est pas justifiable lorsque l'expertise permet une maîtrise suffisante du flux de contrôle.

En résumé, cette architecture nous semble:

- apporter des éléments de réponse aux problèmes rencontrés par le système HEARSAY II sur les deux points suivants:
 - . possibilité d'une expression modulaire des connaissances de contrôle.

procédural puisque les heuristiques à appliquer pour le calcul des priorités des SC en attente dans les agendas sont déterminées par les SC de contrôle et non par l'ordonnanceur lui-même.

- poser un problème analogue à celui rencontré dans le cadre du modèle HEARSAY II. Si le domaine d'application est tel qu'une véritable connaissance de contrôle existe (existence d'une expertise portant sur la stratégie de résolution du problème: connaissances stratégiques), le modèle n'offre pas le moyen de la représenter. Quand dans une situation donnée, l'ordre et l'instant d'intervention d'un groupe de SC sont connus, cette connaissance ne trouvera pas à s'exprimer telle quelle: il faudra adapter les champs coût et fiabilité de ces SC, adapter le comportement des SC de contrôle de telle sorte que l'influence qui en résulte sur l'ordonnanceur aboutisse finalement (et très indirectement) à un comportement du système conforme à la stratégie de résolution décrite par l'expert.

II.4
MODELES DE CONTROLE
EN UNIVERS MULTI-AGENTS :
CONCLUSION.

L'analyse de la connaissance sous-jacente à l'expertise à modéliser (chapitre I) en a mis en évidence plusieurs caractéristiques dont certaines malaisées à représenter dans le cadre d'une architecture de S.E. classique: points de vue multiples et logique de situation

Les systèmes d'I.A.D., précisément conçus pour simuler le comportement d'une société d'experts spécialisés et collaborant à la résolution d'un problème, sont naturellement adaptés au traitement des problèmes logiquement distribués (décomposabilité du problème et multiplicité des perspectives sous lesquelles un même problème peut être posé).

En outre, intégrant naturellement un pouvoir potentiel d'adaptation à leur contexte d'exécution supérieur aux systèmes classiques, ils se prêtent bien à la représentation de la notion de logique de situation par laquelle nous avons caractérisé un processus de jugement susceptible de varier suivant le contexte dans lequel se pose le problème considéré.

La mise en oeuvre de ces systèmes multi-agents soulève cependant un problème nouveau en raison de la dichotomie introduite entre ce que nous avons appelé les niveaux micro et macro du processus de résolution, installant ainsi un conflit latent entre cohérence globale et connaissances limitées et actions locales.

Les termes de ce conflit ont été résumés (II.1.3) comme suit :

Dans un système d'I.A.D., la possibilité de conflits survient parce que l'intérêt fondamental de la résolution distribuée tient à ce qu'elle permet de ne doter chaque agent résolveur que d'une vision limitée et locale du problème global. Cependant un effet global est attendu: la solution du problème. Mais rien ne permet de garantir qu'une coordination globale résultera de la simple agrégation d'actions fondées sur une connaissance incomplète et une vision partielle du problème. Ainsi la faisabilité d'un système de résolution distribuée tient au caractère local de l'action et de la connaissance, tandis que, dans le même temps, ce caractère limité de la connaissance ainsi rendu nécessaire à la faisabilité du système ne permet pas de garantir la cohérence de son activité globale.

Comment obtenir du système un comportement global cohérent alors que ce comportement est le résultat de l'agrégation d'actions basées sur une connaissance à la fois locale et incomplète ?

Les mérites et limites des deux types de modèles multi-agents ayant permis la réalisation d'applications significatives (réseau de contrats et tableau noir) ont été successivement discutés en fonction de leur aptitude à fournir une solution:

- pouvant résoudre le problème de cohérence globale qui vient d'être rappelé,
- pouvant en même temps servir de support de représentation de connaissances de type stratégique susceptible de traduire la notion de logique de situation.

1) Nous avons montré que le modèle du réseau de contrats, qui s'inscrit dans une problématique résolument distribuée et proche de l'univers des langages d'acteurs (actions et connaissances exclusivement locales, absence de représentation d'un point de vue (ou état) global) ne peut apporter aucune réponse au problème de comportement global cohérent du système dont la solution impose en effet la nécessaire représentation (en vue de sa prise en compte

locale) de l'état courant du système, information par nature globale et donc peu compatible avec les canons du modèle de base.

Nous avons formulé, et illustré par deux applications spécifiques, des propositions (modèle B.N.B.) qui, tout en maintenant le cadre de la problématique du réseau de contrats (la négociation comme protocole de résolution de problème), permettent de repousser les limites du modèle de base en apportant des éléments de réponse au conflit *cohérence globale VS connaissances et actions locales* propre aux univers multi-agents. Ces principes, en encapsulant localement, au niveau de l'agent, les supports de représentation de la rationalité globale du système, permettent en effet de distribuer l'information globale. Ils autorisent ainsi la représentation de l'état courant du système en l'absence de représentation explicite d'une structure globale extérieure à l'agent qui serait incompatible avec le principe de distribution du modèle: chaque agent, à la poursuite de son optimum local, contribue partiellement à la réalisation d'un optimum global.

Bien qu'une limite ait été ainsi dépassée, en rendant possible l'application du modèle du réseau de contrats à d'autres problèmes que les problèmes décomposables en sous-problèmes indépendants (les modèles B.N.B_1 et B.N.B_2 en sont deux illustrations), cette réconciliation *micro/macro* sous forme d'une réconciliation *optima locaux/optimum global* traduit le fait qu'une seconde limite, plus spécifique au problème traité, n'a pu être franchie: la solution apportée par le modèle B.N.B., en son état actuel, ne peut en effet s'appliquer qu'aux problèmes pour lesquels l'exigence de cohérence globale trouve à s'exprimer dans les termes d'un nécessaire équilibre général optimal (satisfaction de contraintes globales sur la base d'actions localement décidées). Cette approche demeure donc fort éloignée du problème de la simulation financière d'entreprise qui nécessite en vue de sa solution, non la recherche d'un équilibre théoriquement optimal (car, en l'occurrence, on ne sait quoi optimiser), mais la recherche d'un déséquilibre pratiquement satisfaisant par arbitrage entre des objectifs et des contraintes. La représentation d'un tel comportement de recherche, traduisant la mise en oeuvre d'une rationalité limitée, suppose la représentation explicite d'une stratégie de résolution.

2) Le modèle du tableau noir, à l'opposé du modèle du réseau de contrats, admet le principe d'existence d'une structure de données commune, appelée tableau noir, et susceptible de supporter une représentation de l'état courant du système. Fondé sur l'idée d'une communauté d'agents, dont la mutuelle ignorance constitue l'un des postulats essentiels, ce modèle impose du même coup la double nécessité:

- du tableau noir: de façon à assurer une communication qui ne peut être qu'indirecte (via le tableau noir) entre agents mutuellement ignorants
- du contrôle: comment obtenir en effet des agents du système un comportement coopérant (cohérence globale) alors même qu'ils s'ignorent?

Afin de surmonter ce dernier problème, il faut bien se résoudre à introduire dans le système d'autres agents chargés de contrôler l'activité des premiers. Les principes du modèle de base rendent cependant leur tâche artificiellement délicate: une information de contrôle est certes à leur disposition, puisque l'information mémorisée au tableau noir, considérée globalement, peut supporter une représentation de l'état courant du système, mais comment pourront-ils rendre cette information opératoire et efficace tant qu'ils seront supposés ignorer tous les autres agents du système et ne pouvoir directement communiquer avec personne ?

La littérature concernant le tableau noir peut ainsi être partiellement relue comme l'histoire d'une succession de tentatives en vue de maintenir la fiction d'une parfaite compatibilité des principes de base du modèle.

- Dans les modèles où le contrôle est lui-même à base de tableau noir (BB_1) ou centralisé (HEARSAY_II), du respect scrupuleux des principes du modèle découle un contrôle à la fois faible et implicite qui est ainsi rendu inapte à répondre aux exigences du modèle qui nous concerne.

- Dans les architectures à contrôle hiérarchique (CRYALIS ou ATOME), un contrôle à la fois efficace et explicite, donc susceptible d'être support de représentation d'une connaissance relative à la stratégie de résolution du problème, n'a pu être obtenu qu'au prix de l'abandon partiel des principes du modèle; il en résulte le caractère asymétrique et le défaut d'uniformité de l'architecture finalement obtenue.

Le modèle que nous utiliserons pour l'application SIMFIDE se situera donc dans la lignée des systèmes de tableau noir à contrôle hiérarchique. Nous introduirons cependant le principe d'une communication directe et bilatérale des informations de contrôle entre agents de rangs hiérarchiques contigus.

De cette proposition résulte:

- l'abandon complet et explicite de l'un des principes du modèle de base: le caractère *self activating* des agents du système.

L'étude des applications à base de tableau noir a cependant montré que le (relatif) respect de ce principe se concrétise, tant dans BB_1 que dans HEARSAY_II, par des modalités d'implémentation obligeant à:

- . une représentation dispersée de la connaissance de contrôle: ordonnanceur, partie condition ou précondition des S.C., table associant à chaque événement possible l'ensemble des S.C. intéressées par ce type d'événement.
- . l'introduction d'indirections dans le cheminement du flux de contrôle.

Ce sont ces particularités d'implémentation qui sont responsables de la faiblesse et/ou de l'inefficacité du contrôle.

- l'abandon partiel du principe de communication exclusivement indirecte entre agents puisque ce mode de communication se voit réservé à l'usage des agents appartenant à un même rang dans la hiérarchie des sources de connaissances.

Coexistent ainsi dans le système deux protocoles de communication: l'un indirect (le partage d'informations) pour les agents d'une même classe, l'autre direct (transmission de messages) entre agents de classes adjacentes. Le modèle de communication est ainsi dédoublé, mais nous montrerons que, du même coup, le comportement des agents du système, ainsi que leur structure, s'en trouvent uniformisés.

La description de cette architecture et du résultat de son application à la représentation de l'expertise analysée au chapitre I constituent l'objet du chapitre III.

CHAPITRE III

ARCHITECTURE DU SYSTEME

SIMFIDE.

Dans cette partie, nous allons décrire l'architecture adoptée pour l'application SIMFIDE (SIMulation FINANcière et Diagnostic d'Entreprise).

Cette architecture s'inscrit dans la filiation des systèmes SU/X, SU/P, HASP/SIAP et CRYALIS qui en constituent l'inspiration.

Les principes qui seront décrits ont été concrétisés par la réalisation d'un prototype opérationnel (1) présenté dans le cadre des forums industriels des salons APPLICA (Lille, octobre 1988), SICORFIA (décembre 1988) et "Les hommes de la finance et les systèmes experts" (Paris, décembre 1989) et ont fait l'objet de plusieurs communications [BUI 87, 88, 89a, 89b].

Dans une première section, l'application sera présentée d'un point de vue fonctionnel: quel est le déroulement d'une consultation du système ?

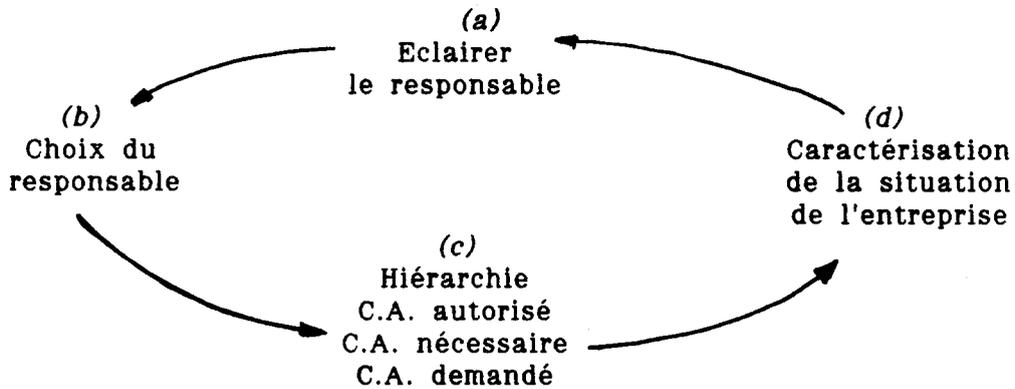
Dans une seconde section, nous exposerons les modalités de représentation adoptées pour l'implémentation du module expert d'aide à l'élaboration d'une stratégie.

Enfin, dans une troisième section, nous mettrons en perspective ce modèle ainsi décrit avec les caractéristiques du domaine d'application et le cahier des charges tels qu'ils avaient été exposés au chapitre I.

(1) Le générateur de S.B. GURU a servi d'outil de prototypage.

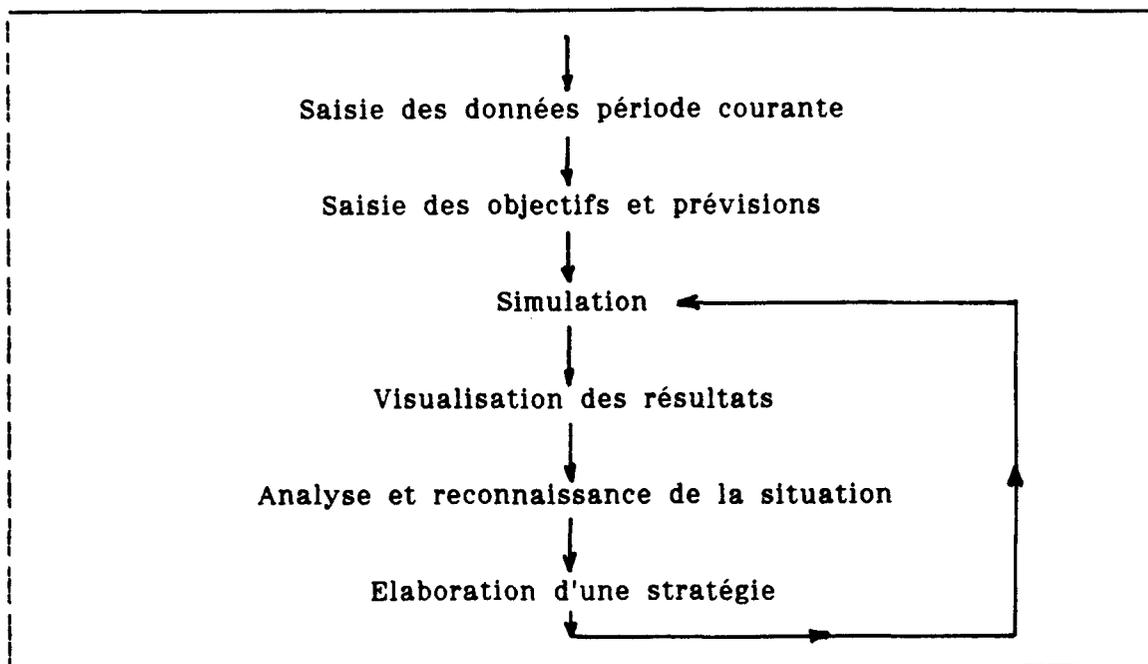
**III.1 SCHEMA FONCTIONNEL DE
L'APPLICATION.**

La consultation de l'expert par le responsable de l'entreprise se réalise au travers d'un dialogue organisé autour du cycle suivant:



- (a)-->(b) Aider le responsable à qualifier les contraintes propres à son entreprise
- (b)-->(c) Etape de simulation permettant de projeter l'entreprise dans une typologie de déséquilibres
- (c)-->(d) L'analyse de la situation permet de guider le responsable dans l'élaboration d'une stratégie (retour en (a)).

Le déroulement d'une consultation du système expert s'organise de même dans un cycle reposant sur un dialogue entre le système et l'utilisateur.



Ces différentes étapes sont brièvement commentées par les paragraphes qui suivent.

III.1.1 INTRODUCTION DES DONNEES RELATIVES A LA PERIODE COURANTE.

Cette phase permet l'introduction par l'utilisateur du système des valeurs actuelles d'un certain nombre de paramètres comptables de l'entreprise:

Chiffre d'affaire.

Valeur des capitaux propres.

Apports de capitaux propres.

Résultat après I.S.

Dividendes versés.

Charges proportionnelles au C.A.

Charges fixes.

Montant des achats de matières premières et consommables.

Charges de personnel.

Charges financières.

Dettes à long et moyen terme.

Crédits de trésorerie.

Crédits fournisseurs et autres créanciers d'exploitation.

Cette saisie est contrôlée par une première base de règles.

Quelques remarques:

Les données initialement saisies concernent des grandeurs comptables en nombre très limité et "simples", c'est à dire dont tout responsable de PME peut au moins fournir une évaluation sans qu'il lui soit notamment nécessaire de disposer des liasses comptables relatives à plusieurs exercices.

Les seuls postes dont l'évaluation est éventuellement délicate concernent l'analyse de la structure des charges (distinction charges fixes / charges proportionnelles au C.A.). Si l'utilisateur ne peut directement fournir une évaluation des montants respectifs des charges fixes et des charges variables, il lui est donné accès à des écrans de saisie (à des niveaux de détail de plus en plus fins) des postes de charges avec distinction partie fixe et partie variable (comme le suggèrent les copies d'écran de la page suivante).

ANALYSE DES CHARGES

1) Vous pouvez préciser le montant respectif:

- des charges proportionnelles au C.A.
(autres que mat. prem. et cons.)
- des charges fixes
(autres que pers.)

2) Analyse des charges

VOTRE CHOIX:

1 2

CHARGES AUTRES QUE PERSONNEL ET MATIERES PREMIERES ET CONSOMMABLES

ANALYSE DES CHARGES

O.K.

Plus détaillé	Montant total	Partie fixe	Partie variable
Impôts & taxes	10.00	10.00	0.00
Trav. / fourn. serv. ext.	120.00	40.00	80.00
Transports et déplacements	120.00	50.00	70.00
Frais divers de gestion	119.00	69.00	50.00
Dotations	12.00	12.00	0.00

CHARGES AUTRES QUE PERSONNEL ET MATIERES PREMIERES ET CONSOMMABLES

	TOTAL	FIXE	VARIABLE
Patente	—.—	—.—	
Taxe d'apprentissage	—.—	—.—	
Taxe sur les salaires	—.—	—.—	
Taxe sur la Valeur Ajoutée	—.—	—.—	
Timbres fiscaux	—.—	—.—	
Loyers et charges locatives	—.—	—.—	
Entretien et réparation	—.—	—.—	
Electricité	—.—	—.—	
Eau	—.—	—.—	
Gaz	—.—	—.—	
Honoraires	—.—	—.—	
Primes d'assurances	—.—	—.—	
Voyages et déplacements	—.—	—.—	
Transports sur achats	—.—	—.—	
Transports sur ventes	—.—	—.—	
Publicité	—.—	—.—	
Frais de bureau	—.—	—.—	
Frais de PTT	—.—	—.—	
Dotations Amortissements	—.—	—.—	
Dotations prov. créances	—.—	—.—	
Dotations prov. stocks	—.—	—.—	
Dotations prov. risques	—.—	—.—	
_____CHARGES AUTRES QUE PERSONNEL ET MATIERES PREMIERES ET CONSOMMABLES_____			

Concernant les questions posées par le système, une aide en ligne est disponible (1) permettant d'obtenir des explications complémentaires sur:

- . la nature de l'information demandée
- . l'objectif poursuivi par le système (c.a.d. l'utilisation qu'il fera de la réponse apportée par l'utilisateur).

Données relatives à la période courante.	
Quel était le montant des achats de matières premières et consommables pour la période courante ?	
___1920.00	
Calculs	
Empty box for calculations	
E = explication _____ S = suite _____	

Données relatives à la période courante.

Quel était le montant des achats de
matières premières et consommables
pour la période courante ?

1920.00

Mon objectif est de déterminer la structure des
charges: distinction entre charges variant
proportionnellement au C.A. et charges fixes.

E = explication _____ S = suite _____

III.1.2 QUALIFICATION DES CONTRAINTES SPECIFIQUES A L'ENTREPRISE.

Les calculs effectués sur ces données permettent de qualifier les contraintes (au sens défini par l'expert: contraintes de marge, de personnel, de rentabilité, de marge etc...) caractéristiques de l'entreprise analysée (cf. chap I).

Niveau d'indépendance financière: part des fonds propres dans le total bilan.

Rotation d'actif: C.A. / total bilan.

Rentabilité financière: résultat net / fonds propres.

Coût moyen des dettes: Charges financières / total des dettes.

Charges fixes: charges non proportionnelles au C.A. + charges de personnel.

Taux de marge sur charges proportionnelles au C.A.: $1 - (\text{charges prop.} / \text{C.A.})$.

Ces différents résultats inférés par le système sont communiqués à l'utilisateur au fur et à mesure de leur détermination dans la fenêtre basse de l'écran.

Une touche d'aide permet d'accéder à des explications relatives à leur signification ainsi qu'aux règles de calcul utilisées en vue de leur détermination (cf. copie d'écran page suivante).

Données relatives à la période courante.

Quel était le montant de vos charges financières
pour la période courante ?

5.00

Calculs

Tx mg/chg prop a	Rot d'actif
0.33	3.97
CP après affect.	Ind financière
645.00	0.89
Tot bilan	Ct moyen dettes
725.00	0.06

Règle N°rx6

E = explicatio

Coût moyen des dettes = chg fin / total dettes

III.1.3 SAISIE DES OBJECTIFS ET PREVISIONS.

Chacune de ces caractéristiques de l'entreprise calculées pour la période courante fait ensuite l'objet d'une approche prospective sur cinq périodes.

Elle consistera à amener et à aider le responsable d'entreprise à formuler, concernant chacun de ces paramètres qualifiant les contraintes propres à l'entreprise analysée:

des choix, des objectifs ou des anticipations

ou pourra éventuellement procéder d'une simple projection des tendances passées.

OBJECTIFS & PREVISIONS			
Charges de personnel			
Pour définir l'évolution de ce poste durant les 5 périodes de prospective, vous préférez:			
1) Préciser la valeur du poste pour chacune des 5 périodes.			
2) Préciser un taux d'évolution (t,t-1) pour chacune des 5 périodes.			
3) Définir un taux d'évolution (t,t-1) constant durant tout l'horizon de prospective.			
1	2	3	

OBJECTIFS & PREVISIONS	
Charges de personnel	
	TAUX (en %)
Période 0	360.00
Période 1	370.80
Période 2	393.38
Période 3	429.86
Période 4	483.81
Période 5	560.87

% 3
Représentation graphique
Recommencer la saisie.
O.K.

III.1.4 SIMULATION.

Les calculs de simulation réalisés à partir d'une part des données initiales et d'autre part des objectifs, prévisions ou projections concernant les paramètres stratégiques de l'entreprise (rotation d'actif, seuil d'endettement, niveau de rentabilité etc...) permettent de générer sur l'ensemble des périodes de projection une succession de hiérarchies des trois niveaux d'activité (C.A. autorisé, nécessaire et demandé).

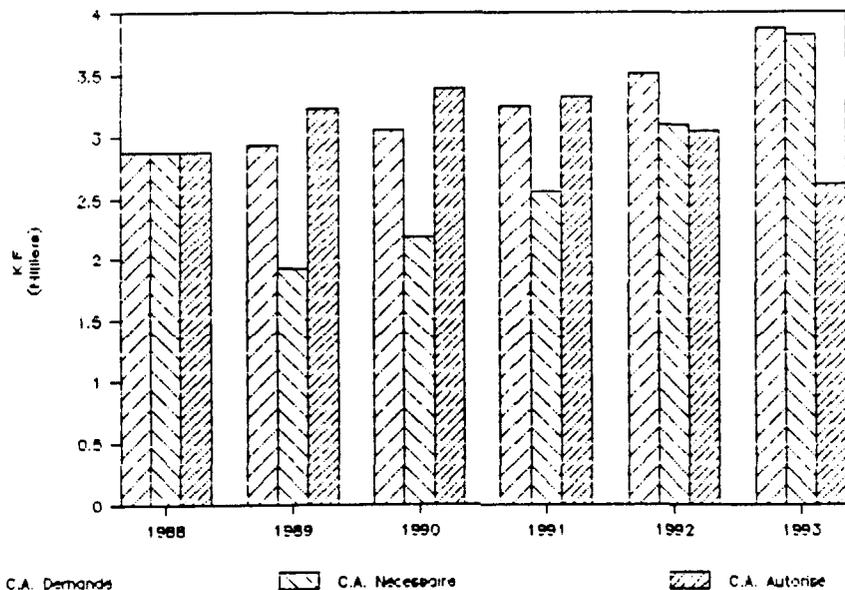
Cette simulation agit comme catalyseur:

dans le cas où des objectifs ou anticipations ont été formulés par le responsable, elle permet d'en mesurer le degré de compatibilité

dans le cas d'une simple projection des tendances passées, elle permet d'identifier certaines distorsions sous-jacentes à la structure actuelle de l'entreprise.

	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Div dist	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports de CP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chg de pers	360.00	370.80	393.38	429.86	483.81	560.07
Chg fix	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tx mg/chg prop au CA	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29
Ct moyen dettes	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
Ind financière	0.89	0.89	0.90	0.92	0.94	0.96
Rot d'actif	3.97	3.73	3.30	2.74	2.14	1.57
Rent financ	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
C.A. demandé	2880.00	2937.60	3056.28	3243.35	3510.70	3876.10
C.A. néces	2880.00	1918.61	2187.09	2566.14	3092.58	3822.59
C.A. aut	2880.00	3229.47	3387.14	3322.73	3048.74	2516.41
CP après affect.	645.00	773.28	927.07	1111.46	1332.51	1597.52
Dettes	80.00	91.59	99.51	101.02	92.40	68.71
Rés net	107.00	128.28	153.79	184.38	221.05	265.02
Tot bilan	725.00	864.87	1026.58	1212.48	1424.91	1666.23
Chg financières	5.00	5.79	6.41	6.70	6.38	4.29

SUITE: TAPER F1



III.1.5 ANALYSE DE LA SITUATION DE L'ENTREPRISE.

Le type de déséquilibre des trois chiffres d'affaire et son évolution au cours des périodes de simulation (amplification ou résorption, transition d'un type de déséquilibre à un autre) permettent au système de situer l'entreprise dans une typologie des déséquilibres possibles et de proposer des actions correctrices possibles ou, à défaut, de cerner les objectifs qui ne pourront être atteints.

(Les copies d'écran ci-dessous donnent une indication des commentaires générés dans le cas de la situation simulée illustrée par les copies d'écran de la page précédente.)

PAS DE PROBLEME COMMERCIAL: le marché est favorable.

La demande qui s'adresse à l'entreprise est en moyenne supérieure de 4.74% au chiffre d'affaire nécessaire à la couverture des charges et du résultat escompté.

LE PROBLEME PRIORITAIRE EST D'ORDRE FINANCIER.

Ce problème tient au déséquilibre observable entre le niveau d'activité autorisé par la structure financière de l'entreprise (CAA) et le chiffre d'affaire nécessaire: en effet le CAN augmente régulièrement sur la période tandis que, à long terme, le CAA finit par manifester une tendance à la baisse.

Pour assurer le rattrapage du CAN par le CAA:

- 1) La meilleure solution consiste à agir sur la rotation d'actif pour assurer une expansion du CAA (la satisfaction de la demande et de votre objectif de croissance de la rentabilité financière passe par là).
- 2) Si cette action est impossible à envisager ou demeure insuffisante (compte tenu de la marge de manoeuvre dont vous disposez sur ce paramètre), il faut envisager:
 - * une baisse de la rentabilité financière ou
 - * une dégradation de votre niveau d'indépendance financière

III.1.6 ELABORATION D'UNE STRATEGIE.

Dès lors le processus de consultation s'inscrit dans une boucle qui met l'utilisateur en interaction avec le module expert du système:

- (1) compte tenu de la situation de l'entreprise le système suggère des actions correctrices à l'utilisateur.
- (2) l'utilisateur a la responsabilité d'accepter ou de refuser les actions qui lui sont proposées et de quantifier celles qu'il accepte.
- (3) le système enregistre les inflexions aux objectifs initiaux introduites par l'utilisateur, tient à jour l'évolution de la situation de l'entreprise qui en résulte et en renvoie une image corrigée à l'utilisateur du système.
- (4) retour en (1).

La sortie de cette boucle est déterminée par:

- la décision explicite de l'utilisateur qui peut:
 - . estimer la situation obtenu suffisamment satisfaisante
 - . vouloir tenter un autre "scénario"
- la décision du système dans le cas où:
 - . la situation est bloquée: l'utilisateur confirme au S.E. qu'il estime sa marge de manoeuvre devenue nulle sur tous les moyens d'action proposés par le système et encore susceptibles de provoquer une évolution favorable de la situation courante.

. on est parvenu au type de déséquilibre le plus enviable:
CAD > CAA > CAN.

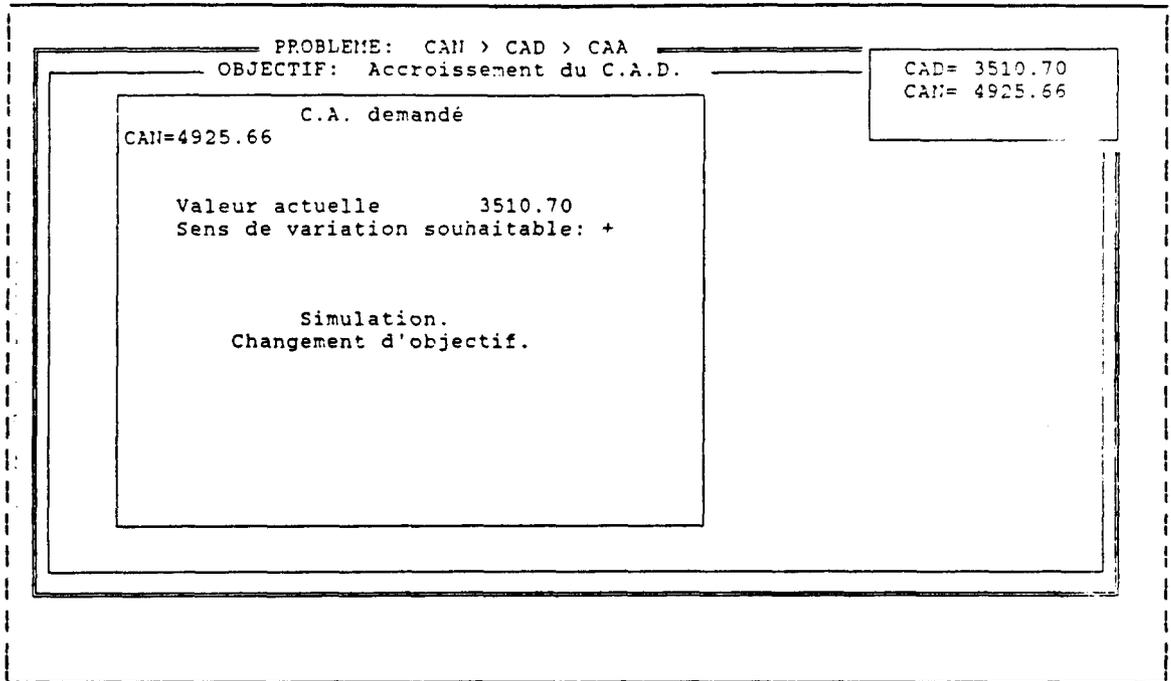
Concrètement, l'utilisateur garde la maîtrise de l'élaboration de la solution

- en acceptant/refusant les actions proposées
- en évaluant les marges de manoeuvre dont il estime disposer
- en quantifiant les actions qu'il accepte.

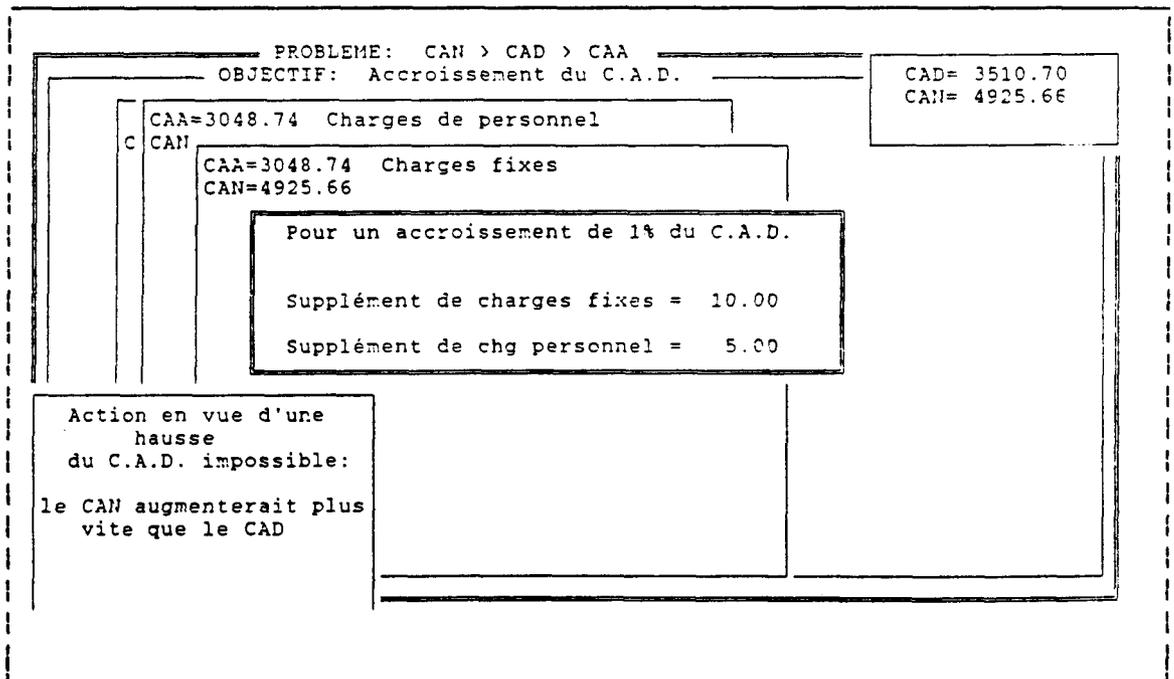
Le système renvoie à l'utilisateur une image corrigée de la situation en ce sens qu'elle intègre ses choix et guide l'utilisateur dans leur formulation en créant une focalisation d'attention sur les aspects prioritaires du problème courant.

(La séquence de copies d'écrans qui suit illustre le traitement d'une situation du type CAN>CAD>CAA dans laquelle le système implémente (1) un objectif prioritairement commercial (lié au déséquilibre CAD>CAN). L'insuffisance de l'effort commercial ((2) et (3)) amène le système à modifier sa stratégie (4) et à prévenir l'utilisateur que cette insuffisance compromet l'objectif de rentabilité.)

PROBLEME: CAN > CAD > CAA
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>OBJECTIF COMMERCIAL D'ABORD: obtenir le rattrapage du CAN (4925.66) par le CAD (3510.70)</p> </div> <p>1) Si ce rattrapage est possible: _____</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Problème financier. Si une dégradation de l'I.D. (0.94) de façon à augmenter le CAA est possible, alors votre objectif de Rf (0.20) pourra sans doute être atteint. Sinon le résultat espéré (221.05) ne pourra être obtenu.</p> </div> <p>2) Si ce rattrapage n'est pas possible: _____</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Plus de problème financier: L'objectif de Rf (0.20) ne sera pas atteint.</p> </div> <p style="text-align: center;">suite stop</p>



(2)



(3)

PROBLEME: CAN > CAD > CAA
 OBJECTIF: Contraction du C.A.N.

C.A. nécessaire
 CAA=3048.74

Valeur actuelle 4925.66
 Sens de variation souhaitable: -

Simulation.
 Changement d'objectif.

PRIORITES
 A défaut d'une augmentation de demande plus importante, l'objectif de résultat ne sera probablement pas atteint. (pertes éventuelles.)

(4)

PROBLEME: CAN > CAD > CAA
 OBJECTIF: Contraction du C.A.N.

C.A. nécessaire
 CAA=3048.74

Valeur actuelle 3774.31
 Sens de variation souhaitable: -

Simulation.
 Changement d'objectif.

CAD= 3510.70
 CAD= 3510.70
 CAN= 3774.31

au C.A.

ères
 6.38
 table: -

PRIORITES
 Charges fixes
 Tx marge / chg prop au C.A.

Modifi

(5)

```

PROBLEME: CAN > CAD > CAA
OBJECTIF: Contraction du C.A.N.
CAA=3048.74 Rentabilité financière
CAN
CAA=3048.74 Charges de personnel
CAN
CAA=3048.74 Charges fixes
CAN
No CAA=3048.74 Tx marge / chg prop au C.A.
CAN=4744.45
Nouvelle valeur: 0.30
Valeur actuelle 0.24
Sens de variation souhaitable: +
marge de manoeuvre= 0.70
Marge de manoeuvre nulle
Je ne sais pas.
Modification acceptée
Modification refusée
Entrer une valeur Aide graphique.
CAD= 3510.70
CAN= 4744.45

```

(6)

En résumé, la fonction du module d'aide à l'élaboration d'une stratégie est de modéliser:

un processus de recherche d'un équilibre entre les objectifs de l'utilisateur et les contraintes représentées par le système; cet équilibre est obtenu comme résultat d'une interaction mixte fondée sur la mise en coopération de l'utilisateur et du système: l'utilisateur, participe activement au processus de résolution, tandis que l'expertise du système l'aide à fonder ses choix.

III.2. IMPLEMENTATION DU MODULE EXPERT D'AIDE A L'ELABORATION D'UNE STRATEGIE.

Après avoir indiqué, dans la précédente section, quel était le déroulement global d'une consultation du système, cette seconde section sera consacrée à l'exposé des modalités de représentation que nous avons adoptées en vue de l'implémentation du module expert d'aide à l'élaboration d'un plan d'actions.

Dans un premier paragraphe (III.2.1), nous montrerons la naturelle adaptation de l'expertise présentée au chapitre I à une représentation distribuée sous forme d'un groupe d'experts (ou agents, ou encore sources de connaissances) collaborant, avec l'utilisateur, à l'élaboration d'un plan d'actions.

Dans un second paragraphe (III.2.2), nous exposerons les modalités d'organisation de cette société d'agents:

- organisation hiérarchique
- rôles et structure du tableau noir
- structure des agents

qui ont été choisies en vue d'obtenir un comportement global du système conforme aux nécessités mises en évidence au chapitre I:

- logique de situation et raisonnement opportuniste
- partage du contrôle avec l'utilisateur du système.

III.2.1 PROBLEME DECOMPOSABLE, POINTS DE VUE MULTIPLES, ET REPRESENTATION DISTRIBUEE

1) DECOMPOSABILITE DU PROBLEME .

L'analyse de la démarche de l'expert en a permis la formalisation sous forme d'un problème presque décomposable.

Quelle que soit l'analyse faite de la situation initiale de l'entreprise et la situation cible vers laquelle il est jugé souhaitable de tendre, la concrétisation de la transition de la situation initiale à la situation objectif passera toujours par une inflexion dans un sens ou dans un autre de tout ou partie des trois niveaux d'activité.

Varié en fonction de la situation initiale de l'entreprise et de son profil d'évolution révélé par la projection:

- (1) la priorité relative accordée à l'action sur chacun de ces niveaux d'activité.
- (2) les moyens à mettre en oeuvre pour obtenir ces variations souhaitables.

DEUX EXEMPLES.

EXEMPLE (1)

Dans une situation essentiellement caractérisée par:

$$CAN > CAD > CAA$$

l'objectif prioritaire concerne l'obtention d'une hausse du chiffre d'affaire demandé sans accroissement proportionnel du chiffre d'affaire nécessaire.

Dans une situation essentiellement caractérisée par:

CAD > CAN > CAA

l'objectif prioritaire concerne l'obtention d'une hausse du **chiffre d'affaire autorisé** par la structure financière de l'entreprise.

Remarques:

- L'action en vue d'une hausse du CAD envisagée dans le cas CAN>CAD>CAA peut, si elle aboutit, conduire à la seconde situation (CAD>CAN>CAA) dans laquelle la hausse du CAA peut générer un déséquilibre du type CAD>CAA>CAN qui est hautement souhaitable.
- La priorité relative accordée à l'action sur les différents niveaux d'activité varie donc en fonction de l'évolution de la situation de l'entreprise suite aux actions correctrices déjà mises en oeuvre.

EXEMPLE (2)

Dans le cas où CAD>CAN>CAA, *la hausse du chiffre d'affaire autorisé doit d'abord être obtenue par une action efficace sur la rotation d'actif.*

Dans le cas où CAN>CAA>CAD, si aucune action sur le chiffre d'affaire demandé n'est possible, *un niveau de chiffre d'affaire autorisé suffisant à la poursuite de l'activité peut être obtenu par une dégradation du niveau d'indépendance financière.*

En résumé:

A partir de l'analyse du profil d'évolution révélé par la projection s'élabore une stratégie.

Les objectifs qui implémentent cette stratégie s'expriment toujours en termes d'intérêt privilégié pour certains des trois niveaux d'activité potentiels de l'entreprise.

Cette focalisation de l'intérêt sur l'un ou l'autre des trois niveaux d'activité traduit la nécessité, compte tenu de la

situation de l'entreprise, de privilégier un point de vue particulier sur cette entreprise.

2) POINTS DE VUE MULTIPLES .

Priorité au CAD = problème essentiellement commercial.

Exemples:

CAA>CAN>CAD .

Le rattrapage du CAN par le CAD est-il possible?: l'effort commercial en vue d'accroître le CAD au niveau du CAN ne gonflerait-il pas en effet celui-ci au-delà du niveau du CAA ? (Problème d'élasticité CAD/CAN).

CAD>CAA>CAN .

La préoccupation est à nouveau essentiellement commerciale car les aspects financiers ne posent pas de problèmes à court terme. Mais ce problème commercial se pose dans des termes différents: quelle attitude faut-il adopter vis à vis de l'excès de demande ? Si on peut s'attendre au maintien de la demande à un niveau supérieur au chiffre d'affaire autorisé par la structure financière de l'entreprise, il faut envisager une croissance de la taille de la firme. Si ce niveau élevé de demande n'est au contraire pas durable, les investissements en personnel et en matériel contribueraient au relèvement de la contrainte d'exploitation et induiraient ainsi le risque de retomber dans des situations du type CAN>CAA>CAD ou CAN>CAD>CAA.

Priorité au CAA = problème essentiellement financier.

Exemple:

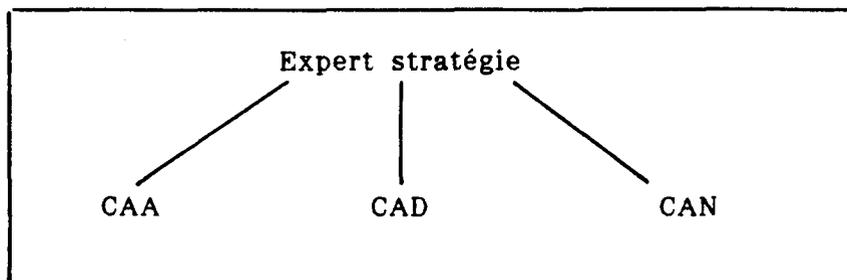
CAD>CAN>CAA .

Le marché est favorable et le point de vue commercial devient secondaire. Le problème est d'abord financier: quelles actions peuvent être mises en oeuvre pour obtenir la croissance du CAA ? : si une action efficace sur la rotation d'actif n'est pas envisageable, il faudra choisir entre remettre en cause l'objectif de rentabilité (et a fortiori la satisfaction de la demande) et la satisfaction de l'objectif de rentabilité financière mais au prix d'une dégradation du niveau d'indépendance financière tant que les prêteurs l'accepteront (contrainte d'indépendance financière).

La prise en compte de chacun de ces points de vue suppose la mise en oeuvre de connaissances distinctes qu'il y a avantage à implémenter dans des agents (entités informatiques ou modules logiciels) distincts.

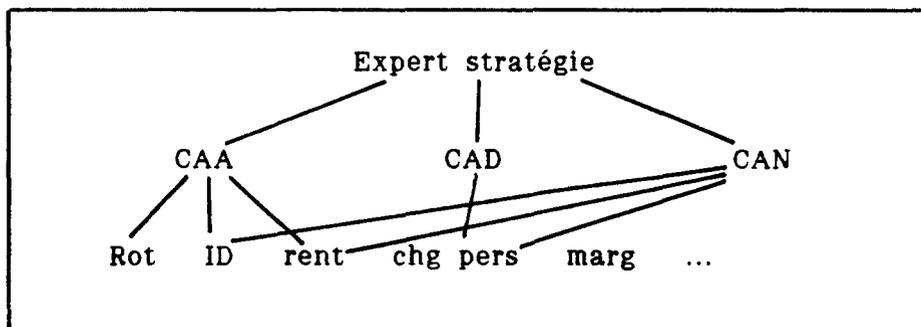
Ces considérations nous ont amené à une représentation de l'expertise distribuée sous forme d'un groupe d'experts (ou source de connaissances) répartis suivant une hiérarchie à trois niveaux.

- (1) Un agent, que nous appellerons expert *stratégie* ou source de connaissances stratégie, ayant une vision globale du problème analyse la situation courante et a la responsabilité de l'élaboration d'une stratégie qu'il implémente en termes d'objectifs en s'adressant à
- (2) d'autres agents ne disposant que d'une représentation partielle du problème parce que spécialisés dans un point de vue spécifique de l'entreprise: point de vue financier(CAA), commercial (CAD), problèmes d'exploitation (CAN). Les agents appartenant à ce second type de sources de connaissances seront appelés des *tâches* (de gestion de l'un des niveaux d'activité potentiels correspondant à un point de vue particulier).



(3) En outre, chacun de ces trois niveaux d'activité potentiel est, dans l'analyse de l'expert, la résultante d'un faisceau de contraintes. La gestion de chacune de ces contraintes relève à son tour d'une connaissance spécialisée susceptible d'être représentée par un module logiciel spécifique. Ces derniers modules, associés chacun à une contrainte, constituent alors les ressources auxquelles peuvent faire appel les modules chargés, par le responsable de la stratégie d'ensemble de résolution du problème, d'une tâche spécifique concernant l'un des chiffres d'affaire.

On aboutit alors au schéma d'ensemble suivant:



Les agents appartenant à cette troisième classe de sources de connaissances seront appelés des *spécialistes* (de la gestion d'une contrainte).

Chacun de ces spécialistes manipule en effet à son tour des notions qui lui sont spécifiques et structurent un sous-espace de recherche qui lui est propre.

Exemple de spécialiste: Contrainte de risque.

L'appréciation du risque procède d'un diagnostic partiel de l'entreprise s'appuyant sur deux éléments: le risque financier et le risque économique.

- **Risque financier.** Afin d'éclairer le choix du dirigeant, ce module est chargé de l'aider à apprécier (par les questions posées notamment) la marge de sécurité dont l'entreprise dispose encore en ce qui concerne son niveau d'endettement:

marge de sécurité = 1 - taux d'utilisation des crédits accessibles.

Les questions pertinentes (et les faits manipulés par la base de règle du spécialiste correspondant) sont ici:

- L'entreprise connaît-elle d'ores et déjà des incidents de trésorerie (difficultés avec les banques, retard de paiement etc...) ?
- Y-a-t-il existence d'un découvert permanent nécessaire?
- Est-il possible d'envisager un emprunt à long terme en vue de reconstituer le fonds de roulement?
- Existe-il une forte dépendance vis-à-vis de certains clients?
- Certains crédits sont-ils cautionnés par un ou des associés?
- Existe-il une marge de manoeuvre disponible sur les créances clients? Cette dernière notion renvoie à son tour aux questions suivantes:
 - Le potentiel d'escompte est-il complètement utilisé?
 - A-t-on déjà recours au financement en loi Dailly?
 - Quelle est l'importance du portefeuille d'effets mobilisables ?

etc...

- **Risque économique.** Il n'est de risque financier (sur le passif) que parce qu'existe un risque économique (sur l'actif). Les éléments d'appréciation du risque économique concernent:
 - la répartition de la clientèle et des fournisseurs qui permet de mesurer le degré de dépendance de l'entreprise vis à vis de ces derniers.
 - la situation de l'entreprise face à la concurrence, face aux fluctuations d'activité ...

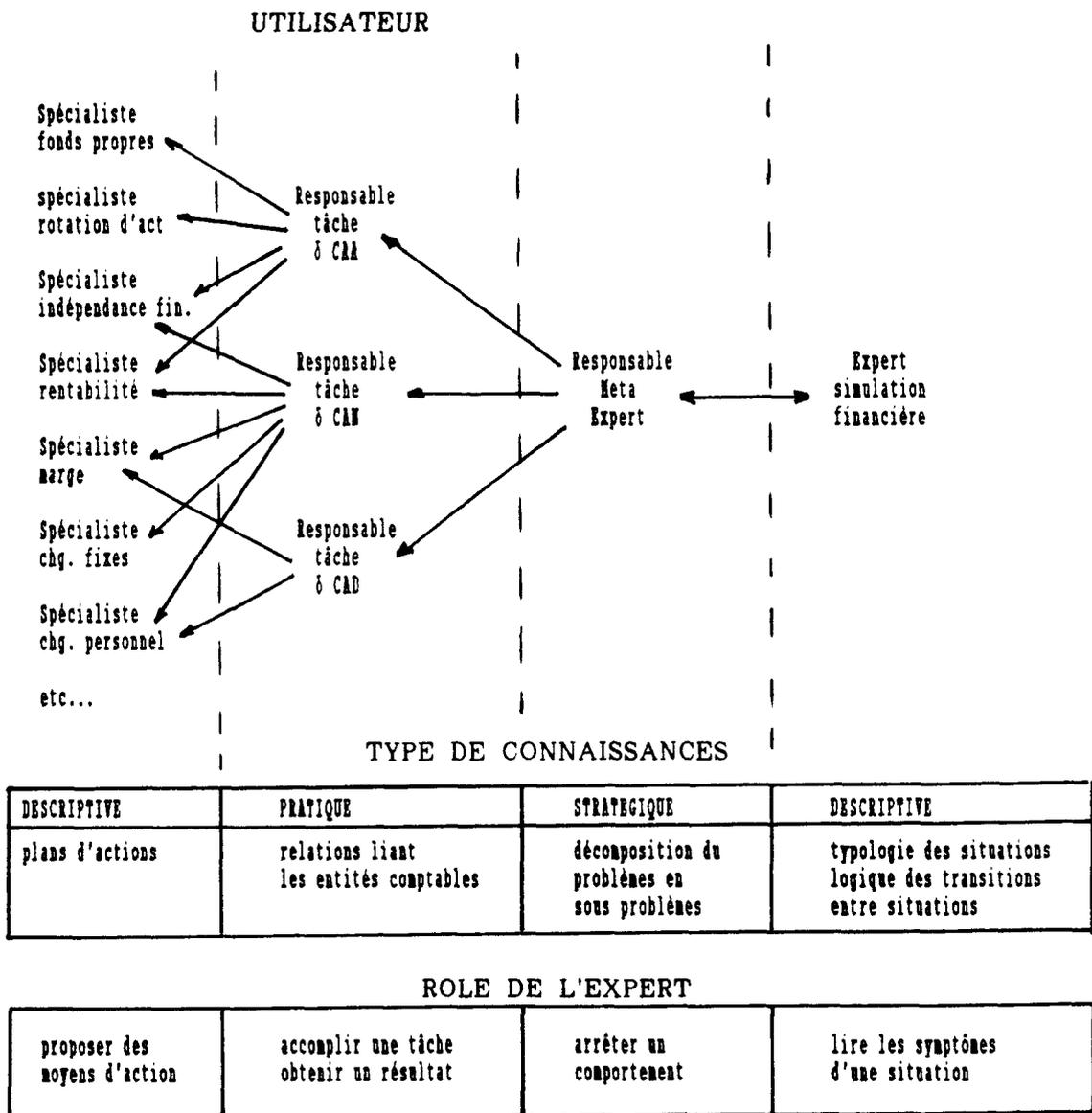
L'ensemble de ces questions structurent l'espace de recherche propre au spécialiste de la contrainte de risque et sont relativement indépendantes des notions manipulées par les spécialistes d'autres contraintes; le spécialiste chargé de la contrainte de rentabilité, par exemple, se doit d'éclairer l'utilisateur du système en lui donnant des éléments de comparaison: informations relatives au marché financier, cotations en bourse...

Les différents domaines couverts par les différents spécialistes sont trop indépendants pour qu'on puisse arriver à une uniformité de modélisation et de structuration de leurs connaissances:

Chaque spécialiste dispose ainsi d'un vocabulaire et d'un espace de recherche qui lui est propre.

3) REPRESENTATION DISTRIBUEE DE L ' EXPERTISE .

Le paradigme que reflète le modèle de représentation de connaissances adopté dans SIMFIDE traduit la façon dont serait résolu le problème s'il était abordé par un groupe d'experts organisé comme suit:



Un responsable (le méta-expert), fort de ses connaissances **stratégiques** supervise le déroulement du processus de résolution du problème; régulièrement, il analyse l'évolution du contexte de

l'entreprise, décompose le problème courant en sous-problèmes qui lui semblent justifier une focalisation de l'attention du groupe et demande aux responsables (responsables de tâche: δ CAA, δ CAN, δ CAD) susceptibles de prendre en charge ces points particuliers de s'acquitter de cette tâche.

Chaque responsable d'une tâche dispose d'une vue partielle du problème et de sa propre équipe de spécialistes (fonds propres, ind. fin., rot. d'actif etc...) l'aidant à résoudre le problème qui lui a été imparti. Enfin chacun de ces acteurs (stratégie, tâches, spécialistes) est en relation directe avec l'utilisateur.

III.2.2 HIERARCHIE DES S.C. ET MECANISME DE CONTROLE.

III.2.2.1 PRINCIPES GENERAUX.

1) ARCHITECTURE DE TABLEAU NOIR A CONTROLE HIERARCHIQUE.

Dans SIMFIDE la solution apportée au problème du contrôle en univers multi-agents relève de la problématique du tableau noir à base de contrôle hiérarchique telle qu'elle a été exposée dans la section 3 du chapitre II.

Le contrôle est exercé par plusieurs agents répartis en deux niveaux (stratégie pour le niveau supérieur et tâches CAA, CAD, CAN pour le second niveau); les agents du troisième et plus bas niveau (les spécialistes de la gestion d'une contrainte spécifique) consistant en sources de connaissances du domaine qui construisent la solution

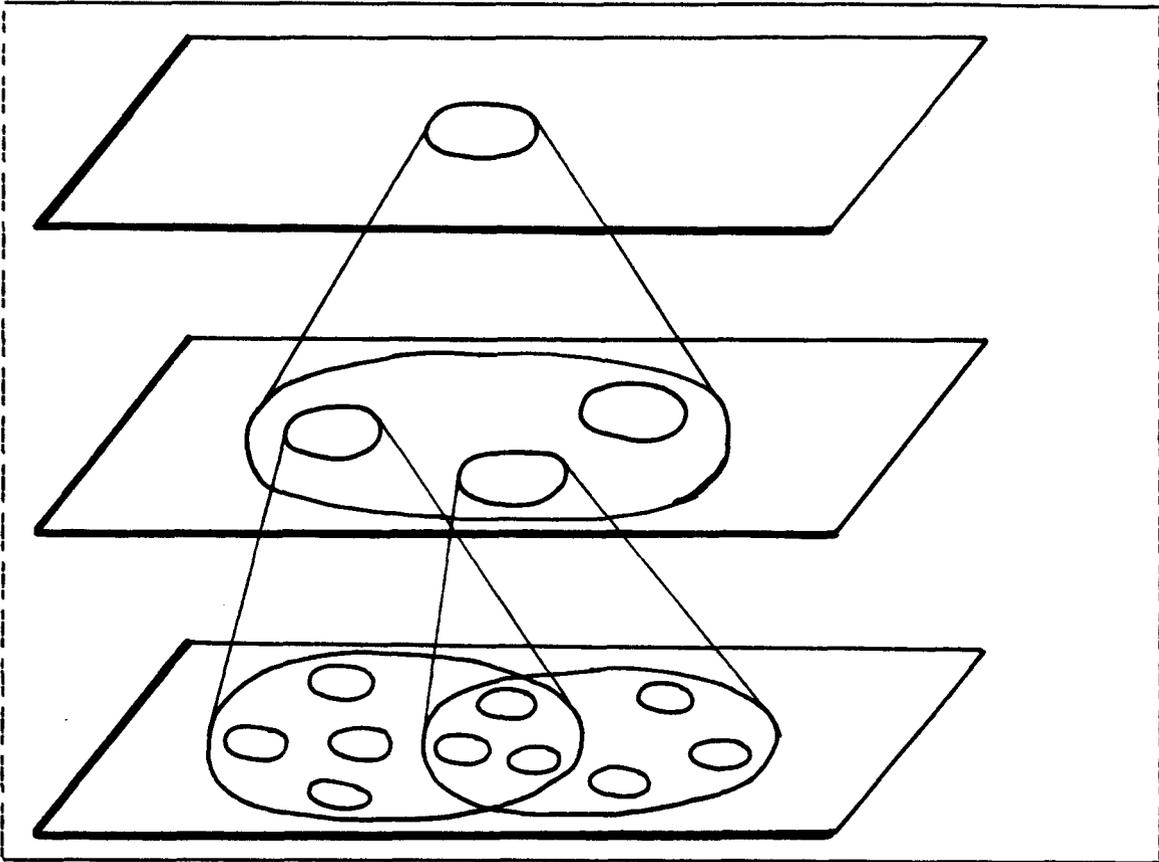
(elles proposent effectivement des actions susceptibles d'être avalisées par l'utilisateur du système).

Conformément au modèle du tableau noir, les agents intervenant à un niveau donné s'ignorent mutuellement. La communication entre les agents participant d'un même niveau est exclusivement indirecte: elle est médiatisée par le niveau du tableau noir dédié aux agents du niveau considéré.

A la différence des modèles à base de tableau noir, l'architecture SIMFIDE organise explicitement les transferts de contrôle entre agents de niveaux hiérarchiques contigus autour d'une communication directe bilatérale.

Le caractère coopératif de l'activité des agents d'un niveau donné, dans la situation d'ignorance mutuelle où ils se trouvent, ne peut être garanti que par le contrôle de cette activité exercé par les agents du niveau immédiatement supérieur: contrôle par la stratégie des tâches d'évolution des niveaux d'activité, contrôle par ces tâches des spécialistes de gestion des contraintes. La franchise de ce mode de contrôle de l'activité des agents du système ne peut s'accommoder d'une communication indirecte. La S.C. de rang hiérarchique supérieur transmet le contrôle sous forme d'un message d'activation ("*ordre de mission*"), tandis que la S.C. de rang inférieur lui restitue ce contrôle en délivrant à la S.C. de rang supérieur responsable de son activation une information de synthèse relative au résultat de son activité ("*rapport d'activité*"). Le modèle de communication est donc dédoublé dans le système: communication directe entre agents de niveaux distincts, communication indirecte entre agents de même niveau.

Le modèle d'autrui entretenu chez les agents du système SIMFIDE n'est donc jamais un modèle de l'alter ego: l'autre n'a jamais d'existence qu'en tant que membre d'un niveau différent de la hiérarchie des sources de connaissances.



Dans une boucle de contrôle de base le contrôle est exercé du niveau le plus haut vers le niveau le plus bas (top down). Le niveau supérieur est constitué d'une source de connaissances de contrôle unique, la stratégie, qui examine la situation courante de l'entreprise et sélectionne une source de connaissances de niveau immédiatement inférieur dans la hiérarchie. Ce processus est répété de telle sorte que l'exécution d'une source de connaissances à un niveau déclenche l'activation de sources de connaissances au niveau adjacent inférieur. Ceci jusqu'au dernier niveau de la hiérarchie.

Lorsqu'une source de connaissances a permis l'activation d'une autre source de connaissances, elle est mise en attente jusqu'à ce que la source de connaissances activée ait fini de travailler et lui redonne le contrôle.

2) NATURE DES CONNAISSANCES DE CONTROLE

ET REPRESENTATION DES CONNAISSANCES STRATEGIQUES .

Des principes qui viennent d'être décrits se déduisent directement la nature des connaissances intégrées aux agents appartenant aux deux niveaux de contrôle:

- (1) connaissance sur les interactions possibles entre les activités des agents de rang hiérarchique immédiatement inférieur.
- (2) connaissance sur le savoir faire et les capacités de résolution des expertises de rang hiérarchique immédiatement inférieur.

Exemples:

(1) Connaissance des interactions possibles.

Dans une situation où le chiffre d'affaire nécessaire est supérieur au chiffre d'affaire autorisé (CAN > CAA), la tâche CAA chargée d'obtenir un relèvement du chiffre d'affaire autorisé peut parvenir à ses fins en chargeant le spécialiste de la contrainte de risque d'explorer la possibilité d'une baisse du niveau d'indépendance financière. Une telle baisse induit une hausse des charges financières et donc un gonflement du chiffre d'affaire nécessaire susceptible de contrarier l'objectif initial: le rattrapage du chiffre nécessaire par le chiffre d'affaire autorisé. C'est à la source de connaissances stratégie, qui supervise l'activité des tâches, que doit se trouver intégrée la connaissance de cette interaction possible. Dans cet exemple (CAN > CAA), la tâche CAA ne sera éveillée et finalisée sur une expansion du chiffre d'affaire autorisé avec autorisation d'avoir recours à une baisse du niveau d'indépendance financière que dans le cas où une telle baisse induit une augmentation du CAA plus rapide que celle du CAN: cette vérification (basée en l'occurrence sur un calcul d'élasticité) et cette autorisation relèvent de l'activité de la source de connaissances stratégie qui supervise le travail des tâches.

(2) Connaissance sur le savoir-faire des expertises de rang inférieur.

Dans une situation où CAA<CAN, les moyens choisis en vue d'une expansion du CAA dépendent du niveau du CAD (CAD>CAN>CAA ou CAN>CAA>CAD). C'est à la source de connaissances stratégie qu'il appartient d'analyser la situation globale et de transmettre un *ordre de mission* adapté à la tâche CAA si elle décide de l'activer.

Aussi le flux de contrôle qui transite entre deux niveaux successifs de la hiérarchie des sources de connaissances véhicule-t-il non seulement l'indication de la source de connaissances de niveau inférieur à éveiller et de l'objectif qui lui est assigné mais aussi, par le moyen qui sera décrit supra, l'indication d'un **mode de travail** qui en garantira le caractère coopératif et adapté au contexte compte tenu des divers sous-problèmes actuellement traités (c'est à dire des diverses tâches actuellement instanciées): méthodes à privilégier, à exclure....

Les S.C. de contrôle (contrôle des tâches par la stratégie, contrôle des spécialistes par les tâches) sont donc chargées de confronter l'appréciation qu'elles ont à leur niveau de la nature de la situation courante à la connaissance qu'elles ont du savoir-faire des expertises de rang inférieur, afin d'élaborer un "*ordre de mission*" (qui fait quoi, comment et avec qui) qu'elles transmettent à une source de connaissances de rang inférieur.

Ces sources de connaissances de contrôle constituent donc le support de représentation de la **connaissance stratégique** dont il a été question au chapitre I. La mise en oeuvre de cette connaissance stratégique se traduira par une auto-organisation du système (ou *self-organization*: qui travaille avec qui) et une auto-adaptation du comportement des agents (qui travaille comment) à la situation courante et à son évolution.

Cette aptitude du système (dont les modalités d'implémentation seront expliquées supra) à un comportement opportuniste permet la prise en compte de la dimension logique de situation propre au domaine d'application (cf. chapitre I).

III. 2. 2. 2 FONCTIONS ET STRUCTURE DU TABLEAU NOIR .

Le tableau noir a un triple rôle dans SIMFIDE: outre son rôle classique d'espace de communication partagé par les sources de connaissances, le tableau noir sert de **tableau de bord** de l'application et, compte tenu de la nature des informations qui s'y trouvent mémorisées, pourra servir de **donnée d'entrée à un module d'explications**.

- Une conséquence de l'intégration de l'utilisateur à l'espace de recherche est que **les données arrivent en entrée de façon continue** et non sous forme batch comme dans les S.E. en diagnostic financier de "première génération": la situation de l'entreprise et l'analyse qui en est faite doivent être continuellement corrigées. De ce point de vue le tableau noir fait office de tableau de bord dans lequel sont tenus à jour l'évolution de la situation de l'entreprise et l'état courant de la consultation.
- Les informations mémorisées dans le tableau noir peuvent servir de données à un module d'explication. Le tableau noir est une **base de données** dans laquelle les SC viennent inscrire tous les événements traduisant l'évolution du problème initial. Ce faisant, se constitue dynamiquement une **description globale et structurée de la solution** en termes de spécification des modalités d'amélioration du contexte initial.

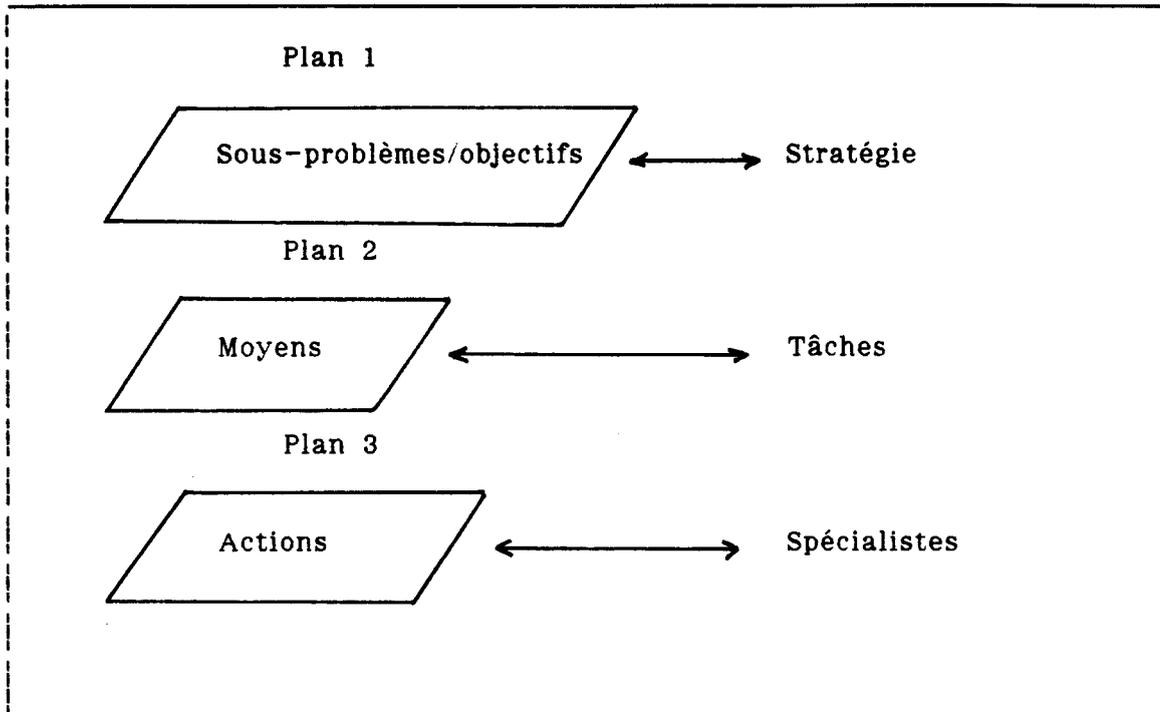
Ces trois fonctions du tableau noir, qui viennent d'être annoncées:

- espace de communication
- tableau de bord de l'application
- donnée d'entrée à un module d'explication

seront illustrées par des exemples après qu'aient été présentées la structure du tableau noir et la structure des objets qui s'y trouvent mémorisés.

1) DECOUPAGE DU TABLEAU NOIR EN PLANS HIERARCHISES .

Le tableau noir est une structure de données découpée en trois plans correspondant aux trois niveaux de la hiérarchie des sources des connaissances:



- le plan *sous-problèmes/objectifs*: il contient l'information traduisant la façon dont la source de connaissances stratégie a décomposé le problème initial en sous-problèmes et a implanté la stratégie de résolution en termes d'objectifs à atteindre.
- le plan *moyens*: il contient toute l'information traduisant la nature des moyens mis en oeuvre par les tâches afin de tendre vers les objectifs fixés par la stratégie.
- le plan *actions*: la mise en oeuvre des moyens choisis par les tâches se concrétise par l'élaboration de plans d'actions mémorisés dans ce dernier plan du tableau noir.

Seul le troisième plan mémorise les informations constitutives de la "solution" du problème et résultant de l'activité des sources de connaissances spécialistes de la gestion de contraintes spécifiques

(c'est à dire les plans d'actions adoptées par l'utilisateur du système afin de ramener l'entreprise à un type de déséquilibre "moins sous-optimal").

Les deux plans supérieurs mémorisent des informations de contrôle utilisées par les sources de connaissances de contrôle: la stratégie pour le premier plan, les tâches pour le plan intermédiaire.

- Le plan 1 contient une information de synthèse concernant:

- . la décomposition du problème en sous-problèmes actuellement traités
- . le résultat de l'activité des tâches ayant été instanciées.

Cette information permet à la S.C. stratégie de prendre des décisions de contrôle concernant la prochaine tâche à activer: quelle tâche, avec quel objectif et quel plan de travail.

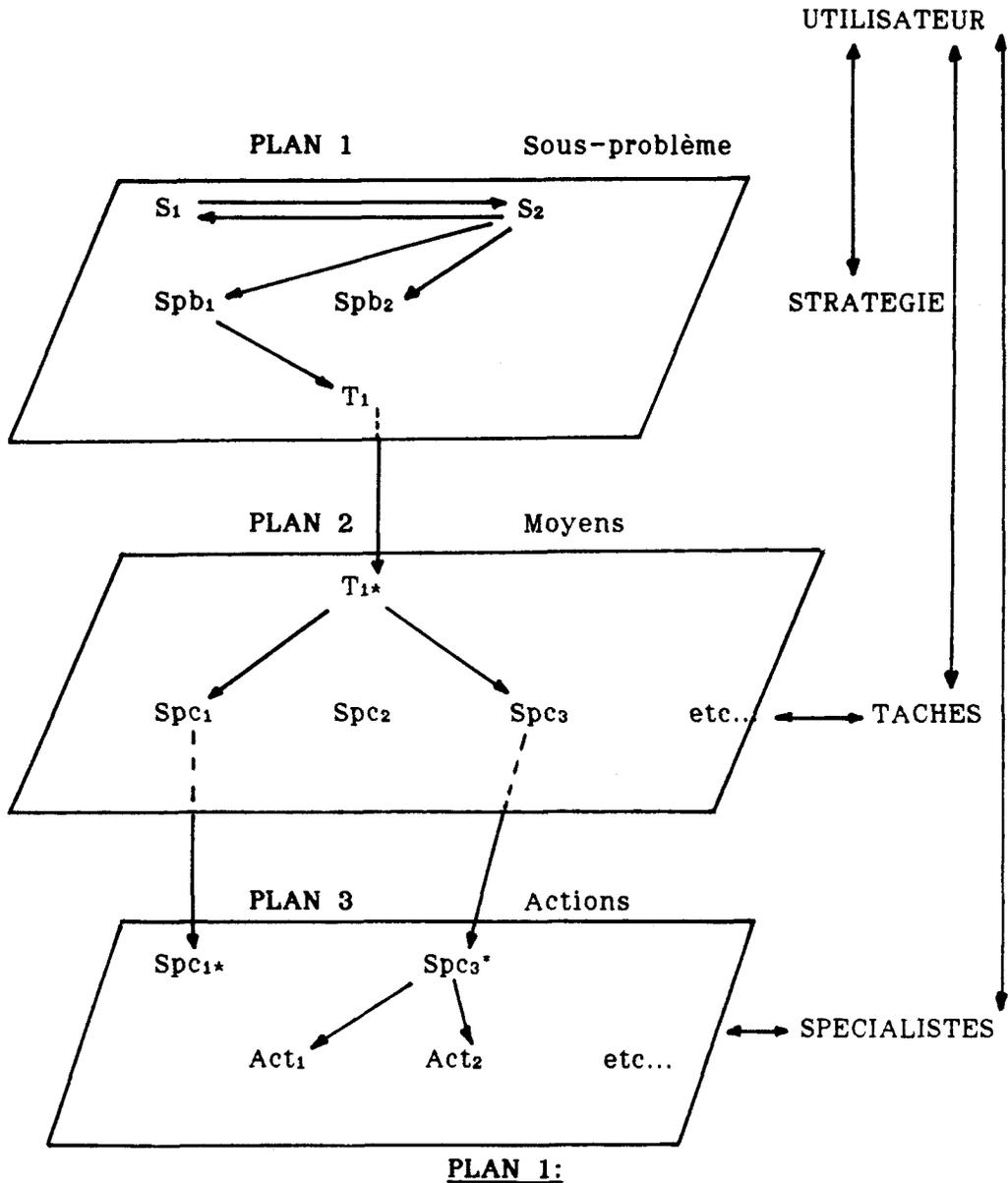
- Le plan 2 contient, pour chaque tâche instanciée (correspondant à un objectif sur le plan supérieur), une information de synthèse concernant le résultat de l'activité des spécialistes. Cette information permet aux tâches de prendre des décisions de contrôle relatives aux spécialistes à activer.

2) STRUCTURATION DES OBJETS DU TABLEAU NOIR .

Chaque plan est caractérisé par un certain nombre d'objets définis par leurs attributs (dont certains sont des liens entre objets de même niveau ou de niveaux différents): ces objets définissent le vocabulaire commun et la structuration propres à l'espace de recherche de la (ou des) sources de connaissances intervenant au niveau considéré.

L'exemple schématisé ci-dessous nous servira à illustrer ce principe.

EXEMPLE:



La source de connaissance stratégie y trouve les informations résultant de son raisonnement et nécessaires à la poursuite de celui-ci.

Dans l'exemple illustré par le schéma précédent, la situation courante est la situation S_2 (CAN>CAA>CAD) dont la situation prédécesseur est S_1 . Cette situation S_2 a été décomposée (par la S.C. stratégie) en deux sous-problèmes Spb_1 (CAA<CAN) et Spb_2 (CAD<CAN)

qui correspondent à deux objectifs implémentant la stratégie courante en vue d'améliorer la situation de l'entreprise faisant l'objet d'une simulation: le point de vue financier (CAA<CAN) est prioritaire (Spb₁), les aspects commerciaux (CAD<CAN) étant initialement secondaires (Spb₂).

La poursuite de l'objectif Spb₁ a déjà conduit à l'instanciation d'une tâche T₁ (augmenter le CAA).

Les objets (liste <attributs,valeur>) mémorisés sur le plan supérieur du tableau noir et caractérisant l'état courant de la consultation tel qu'il est perçu par la stratégie sont donc les suivants:

OBJETS.	INSTANCES.
Situation :	S₂
type de situation :	CAN>CAA>CAD
Situation pred. (<i>lien</i>)	S ₁
Situation suiv. (<i>lien</i>)	nil
ampleur initiale du déséquilibre	50
ampleur actuelle	30
Nombre de cycles de traitement	3
objectif N°1 (<i>lien</i>)	Spb ₁
objectif N°2 (<i>lien</i>)	Spb ₂
Sous-problème (ou objectif) :	Spb₁
type de déséquilibre	CAA<CAN
ampleur init.	20
ampleur actuelle	15
marge de manoeuvre	10
Nombre de cycles de traitement	2
Tâche N°1 (<i>lien</i>)	T ₁
Tâche N°2 (<i>lien</i>)	T ₂
Tâche (var.d'un niveau d'act.)	T₁
type	+CAA
but	CAA=2880
état	échec
plan de travail	procaa2
Marge de manoeuvre	7
valeur init. du C.A.	2347
valeur actuelle	2689
nombre de cycles de traitement	1
moyens (<i>lien</i>)	T ₁ *

Le niveau supérieur du tableau noir (plan 1) contient donc une information de synthèse concernant:

- l'état courant du problème traité: son contexte (situation actuelle, situation prédécesseur) et sa décomposition en sous-problèmes auxquels ont été associés des objectifs.
- l'état courant de la "solution": degré de résolution des sous-problèmes en cours de traitement, tâches déjà activées à cette fin, résultat de cette activité, état courant des tâches.

C'est cette information qui permet à la source de connaissances stratégie, conformément à sa fonction dans le système, de prendre des décisions de contrôle concernant la prochaine tâche à activer: quel sous-problème, quel objectif, quelle tâche, avec quel but et quel plan de travail ?

PLAN 2:

Les sources de connaissances de type tâche y trouvent toute l'information qu'elles y ont placée à l'occasion de leur activité et qui sont nécessaires à la poursuite (ou reprise) de celle-ci.

EXEMPLE:

L'activité de la source de connaissances CAA (niveau tâche) a concrétisé T_1 , décidée par la stratégie, en T_{1*} qui indique les moyens que l'expert du CAA a déjà tenté de mettre en oeuvre par appel aux spécialistes Spc_1 (contrainte de rotation d'actif) et Spc_3 (niveau d'indépendance financière).

Moyens liste de spécialistes	T_{1*} Spc_1, Spc_3	
Spécialistes contrainte état marge de manoeuvre valeur initiale valeur actuelle actions entreprises	Spc_1 rot. d'actif échec 0 2,7 2,7 Spc_{1*}	Spc_3 ind. fin. succès 3 0,8 0,6 Spc_{3*}

Ce plan 2 contient donc, pour chaque tâche instanciée (et correspondant à un objectif implanté par la stratégie au niveau supérieur), une **information de synthèse** sous forme d'un résumé

indiquant le résultat de l'activité des spécialistes et leur état courant. Cette information permet aux sources de connaissances de type tâche, lorsque le contrôle leur est transmis de traduire en termes de spécialistes à activer l'objectif (but et plan de travail) qui leur a été transmis par la stratégie en même temps que le contrôle: cette information permet donc aux tâches, conformément à leur fonction dans le système, de prendre des décisions de contrôle concernant le prochain spécialiste à activer.

PLAN 3

Les spécialistes y placent (lorsqu'elles ont le contrôle), et y retrouvent (lorsqu'elle le recouvrent) la liste des moyens d'action déjà acceptés par l'utilisateur.

Plan d'actions d'un spécialiste	Spc3*	Spc1*
liste d'actions	Act1	nil
Action	Act1	
type	recours au crédit en loi Dailly.	

EN RESUME:

Les deux plans supérieurs du tableau noir contiennent une information de synthèse concernant respectivement pour les deux plans supérieurs:

- l'état courant des objectifs et des tâches
- l'état courant des spécialistes

Cette information de synthèse permet aux S.C. de contrôle de prendre les décisions de contrôle qui relèvent de leur responsabilité propre:

- niveau stratégie: quelle est la prochaine tâche à activer (avec quel but et quel plan de travail) ?
- niveau tâches: quel est le prochain spécialiste à activer ?

Enfin, le plan inférieur du tableau noir mémorise l'état courant des plans d'actions élaborés par les spécialistes en collaboration avec l'utilisateur de l'application.

3) UTILITE DU TABLEAU NOIR .

Ainsi structuré, comment le tableau noir est-il susceptible de remplir les trois fonctions précédemment annoncées:

- tableau de bord de l'application
- Espace de communication
- Donnée d'entrée à un module de communication

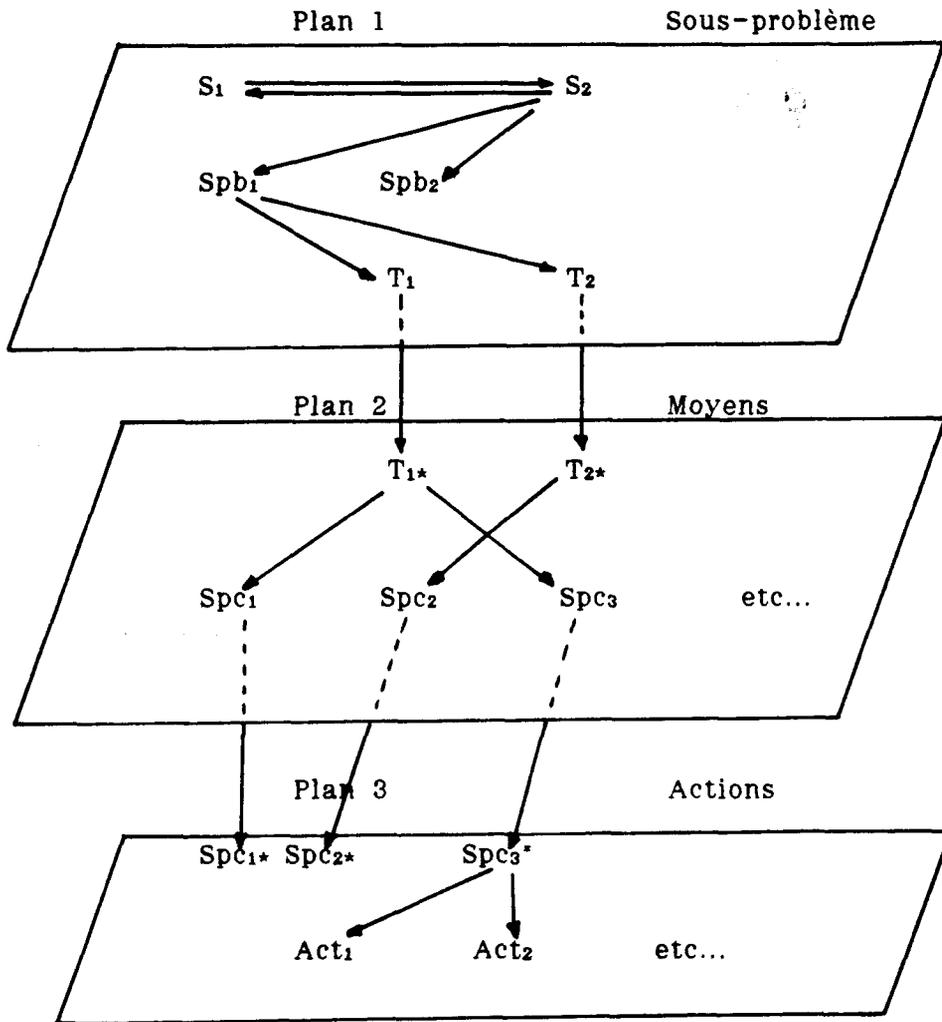
et quelle en est l'utilité par rapport au cahier des charges initialement fixé à l'application ?

a) Utilisation du tableau noir comme tableau de bord de l'application.

Comme système d'aide à la décision, fondé comme tel sur le principe d'une interaction entre l'utilisateur et le système, l'activité de ce dernier consiste à perpétuellement solliciter les entrées de l'utilisateur et à continuellement corriger en conséquence la représentation de l'état courant de la situation et de la solution. Ceci n'est bien entendu possible qu'à la condition de disposer, afin de pouvoir la mettre à jour, d'une représentation globale et structurée de l'état courant de l'ensemble de la consultation. Le tableau noir, structuré de la façon qui vient d'être décrite, peut jouer ce rôle de tableau de bord de l'application, rôle indispensable à la réalisation d'un outil de simulation et d'aide à la décision.

EXEMPLE:

UTILISATEUR



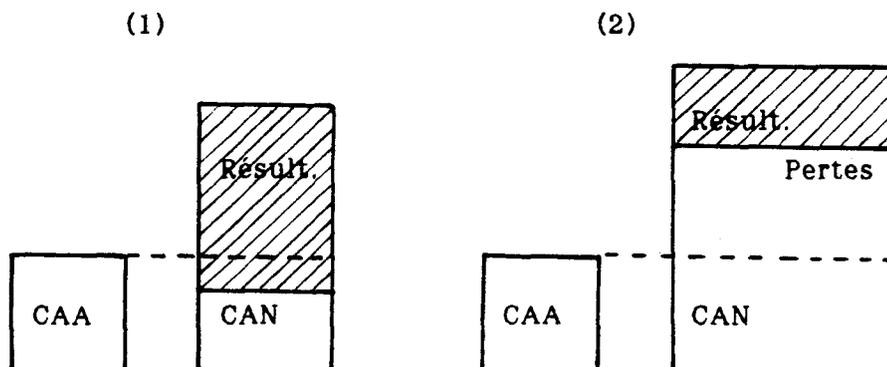
Reprenons et complétons la consultation-exemple précédente. La situation courante S_2 (CAN>CAA>CAD) a donc été décomposée en deux sous-problèmes: Spb_1 , sous-problème financier (CAA<CAN), et Spb_2 , sous-problème commercial (CAN>CAD). Plus prioritaire, le problème financier Spb_1 a déjà conduit à l'instanciation d'une tâche T_1 confiée à l'expert du CAA (restauration du niveau d'activité autorisé par la structure financière à un niveau permettant la couverture des charges et l'obtention du résultat). Cette tâche, en activant les spécialistes de la rotation d'actif (Spc_1) et du niveau d'indépendance financière (Spc_3), a proposé deux axes d'action possibles à l'utilisateur. Seules les suggestions de ce dernier (Spc_3) ont été

retenues par l'utilisateur. Les propositions innovantes du spécialiste de la rotation d'actif n'ayant pas eu l'heur de séduire notre utilisateur (qui estime nulle sa marge de manoeuvre sur ce paramètre), ce spécialiste se trouve bloqué en état d'échec. Les actions validées par l'utilisateur (Act₁ et Act₂) demeurent cependant largement insuffisantes pour approcher l'objectif fixé par la stratégie (CAA=CAN) et la tâche T₁ est en état d'échec. Ces informations, qui figurent au plan supérieur du tableau noir et sont donc accessibles à la source de connaissances stratégie, amènent celle-ci, en vue de parvenir à son objectif financier qui demeure prioritaire, à associer à cet objectif une seconde tâche T₂ par instanciation de l'expert du CAN:

tâche:	T ₂
type:	CAN(-)
but:	CAN=2689
Plan de travail:	Procan2

où Procan2 est une procédure modifiant les priorités associées aux paquets de règles de la base de connaissances de CAN, de façon à donner une priorité relative plus importante aux règles relatives au thème de la rentabilité financière.

Muni de cet objectif et de ce plan de travail, l'expert du CAN proposera à l'utilisateur, compte tenu de la situation et des choix de celui-ci, comme clef d'un rééquilibrage CAA/CAN, la renonciation à l'objectif de rentabilité financière minimale par diminution du résultat anticipé (1), voire même par l'acceptation de pertes éventuelles (2).



Face à une aussi cruelle perspective (évaporation du bénéfice escompté), l'utilisateur se trouve en situation de regretter ses

choix antérieurs et notamment son refus intransigeant de tout recours à une action sur la rotation d'actif. Le système, en tant que SIAD, doit lui permettre de "défaire" ce refus et de reprendre son dialogue avec l'expert du CAA là où il était resté en suspens.

Concrètement, le refus par l'utilisateur d'accepter cette proposition de disparition du résultat faite par l'expert du CAN, mettra celui-ci également en situation d'échec.

La stratégie, constatant l'échec des deux experts (état de T_1 et T_2) ainsi que la non-résolution du problème financier, ne pourra que mettre l'utilisateur en demeure:

- soit de maintenir sa position qui conduit à un blocage de la situation et à la fin de la consultation
- soit de choisir d'accepter les propositions de l'expert du CAN ou de l'expert du CAA.

Dans ce dernier cas (choix du CAA par l'utilisateur), la stratégie est en mesure d'assurer la reprise du dialogue CAA-utilisateur, là où il avait été antérieurement rompu: toute l'information nécessaire à cette reprise se trouve mémorisée dans le tableau noir et il suffira à l'expert stratégie d'activer l'expert CAA en lui transmettant le contexte d'exécution T_{1+} (1). L'utilisateur retrouvera ses choix antérieurs et pourra éventuellement les modifier en:

- acceptant une action initialement refusée
- amplifiant les effets d'une action déjà acceptée
- en supprimant une action antérieurement acceptée
- en substituant une nouvelle action à une action antérieurement acceptée.

(1) Les modalités de transmission de cette information sont explicitées supra.

EN RESUME:

Le tableau noir, comme tableau de bord de l'application qui entretient une représentation de l'état du traitement de la situation courante dans laquelle les choix et actions décidés sont mémorisés et accessibles à titre d'hypothèses, permet de concrétiser, dans le cadre d'une démarche système expert, la fonction "what if" qui doit se trouver au coeur de tout système interactif d'aide à la décision.

b) Utilisation du tableau noir comme espace de communication.

Ce second rôle du tableau noir concerne le plan intermédiaire et les tâches qui y ont accès. Les spécialistes sont conçus par les tâches comme des ressources auxquelles elles peuvent avoir recours afin de tendre vers l'objectif qui leur a été fixé par la stratégie.

En raison du caractère seulement presque décomposable du problème, les divers niveaux d'activité ne se déterminent pas totalement indépendamment les uns des autres: les faisceaux de contraintes qui concourent à la détermination de chacun d'entre eux sont partiellement entrelacés. Ceci signifie évidemment que certaines des ressources que constituent les spécialistes peuvent, dans certaines situations, être partagées par plusieurs tâches. A titre d'exemple, l'embauche de personnel commercial et les dépenses de publicité en vue d'accroître le CAD ne sont évidemment pas sans effet sur l'évolution du CAN. De même, une contraction du niveau d'indépendance financière en vue d'une expansion du CAA, par l'effet qu'elle induit sur les charges, exerce une influence sur le niveau du CAN.

Ceci pose un double problème.

1) Il s'agit d'une part d'un problème de cohérence dans l'utilisation qui est faite par les diverses tâches de ces ressources partagées. Ce premier problème relève de la compétence de la source de connaissances stratégie qui, conformément à sa fonction de contrôle dans le système, intègre la connaissance des interactions possibles des

activités des tâches en fonction des caractéristiques de la situation courante.

La stratégie:

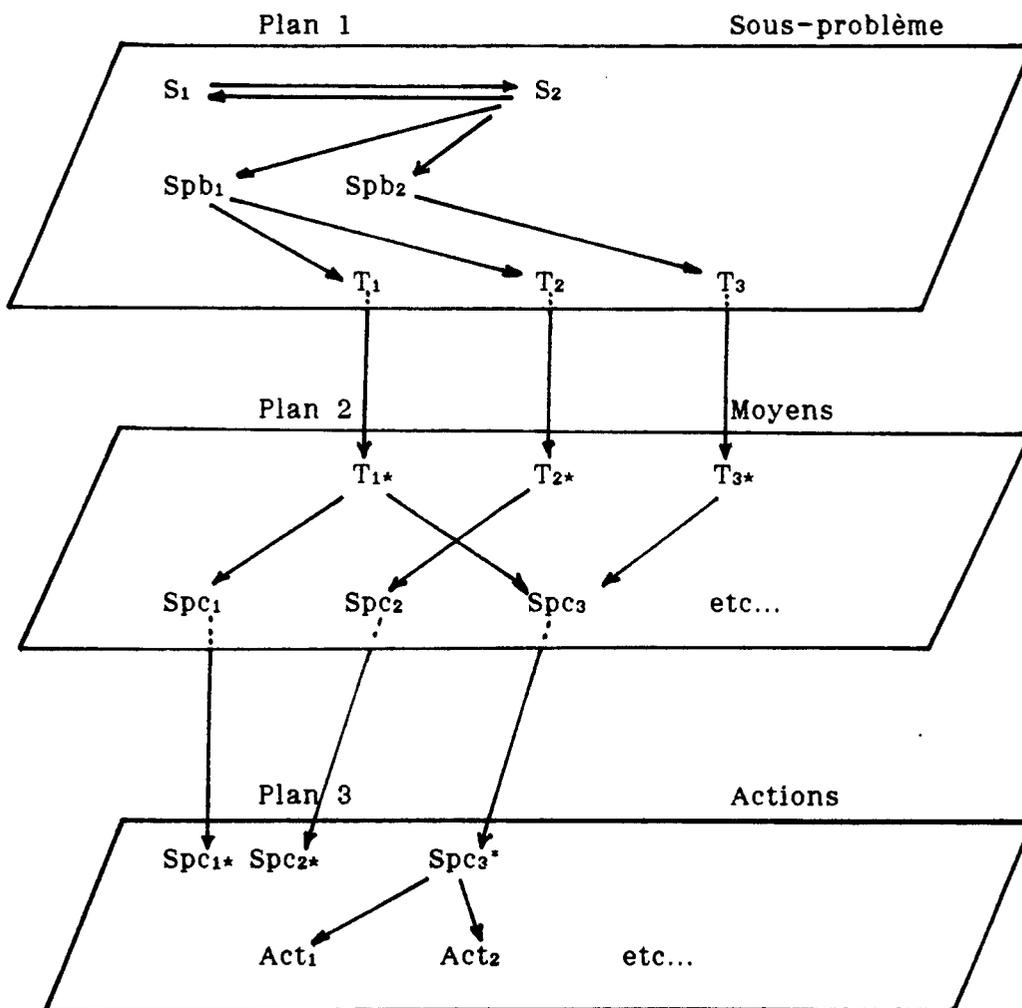
- "sait" ainsi, en fonction du type de situation, si les tâches qu'elle active sont susceptibles d'une telle interaction
- "sait", dans un tel cas, en fonction des paramètres numériques caractérisant cette situation, déterminer s'il faut privilégier ou au contraire restreindre l'accès d'une tâche au spécialiste partagé
- peut imposer de tels arbitrages aux tâches par l'intermédiaire du plan de travail qu'elle leur transmet en même temps que le contrôle.

2) Le second problème est un problème de communication inter-tâches. Le caractère partagé de certains spécialistes ne permet pas d'autoriser les tâches à travailler de façon complètement autonome, notamment en ignorant totalement le résultat de l'activité de leurs consœurs. Mais le traitement de ce second problème n'impose ni la connaissance mutuelle des tâches, ni le raisonnement d'une tâche sur l'activité d'une autre (but et moyen, c'est à dire spécialiste, adopté). Ce premier aspect du problème, qui supposerait une communication directe en rupture avec le modèle (du tableau noir) adopté, est réglé de la façon qui vient d'être rappelée par le contrôle de l'activité des tâches exercé par la stratégie. L'autre aspect du problème, lié à la seule visibilité inter-tâches des activités qu'elles mènent, trouve sa solution naturelle dans une communication indirecte: le plan 2 du tableau noir permet de rendre le résultat de l'activité de chaque tâche visible à toutes les tâches.

Le mécanisme, illustré par l'exemple du paragraphe précédent, qui permettait à une tâche de retrouver un spécialiste dans l'état où elle l'avait antérieurement laissé, permet évidemment tout autant à cette tâche de retrouver ce spécialiste dans l'état où l'a éventuellement laissé une autre tâche qui y a eu recours. Les caractéristiques du problème imposent donc bien une "certaine dose" de

communication inter-tâches. Mais une fois réglés par l'activité de contrôle de la stratégie (et la communication directe qui lui est associée) les problèmes d'interactions, une **communication inter-tâches faible** (ou indirecte) peut suffire: il est suffisant que les tâches laissent sur le plan 2 du tableau noir qui leur est dédié la trace visible de leurs activités.

EXEMPLE:



Reprenons l'exemple précédent et supposons que l'évolution ultérieure de la consultation amène la stratégie à instancier une tâche T_3 (augmentation du CAD en l'occurrence), avec un but et un plan de travail amenant celle-ci à recourir à Spc_3 antérieurement activé par

T₁ (cf. schéma ci-dessus). Le spécialiste Spc₃ ainsi contacté par T₃ n'est nullement amnésique: il a accès ("se souvient") des mesures Act₁ et Act₂ qu'il a déjà fait accepter par l'utilisateur et peut ainsi juger de ce qu'il est encore possible de faire sans pour autant excéder les limites de sa compétence propre (la contrainte spécifique dont il assure la gestion).

c) Le tableau noir comme donnée d'entrée à un module d'explications.

Cette fonction du tableau noir ainsi que le module d'explications ne sont pas développés dans le prototype actuel de SIMFIDE. Nous ferons cependant quelques brèves remarques visant à montrer que:

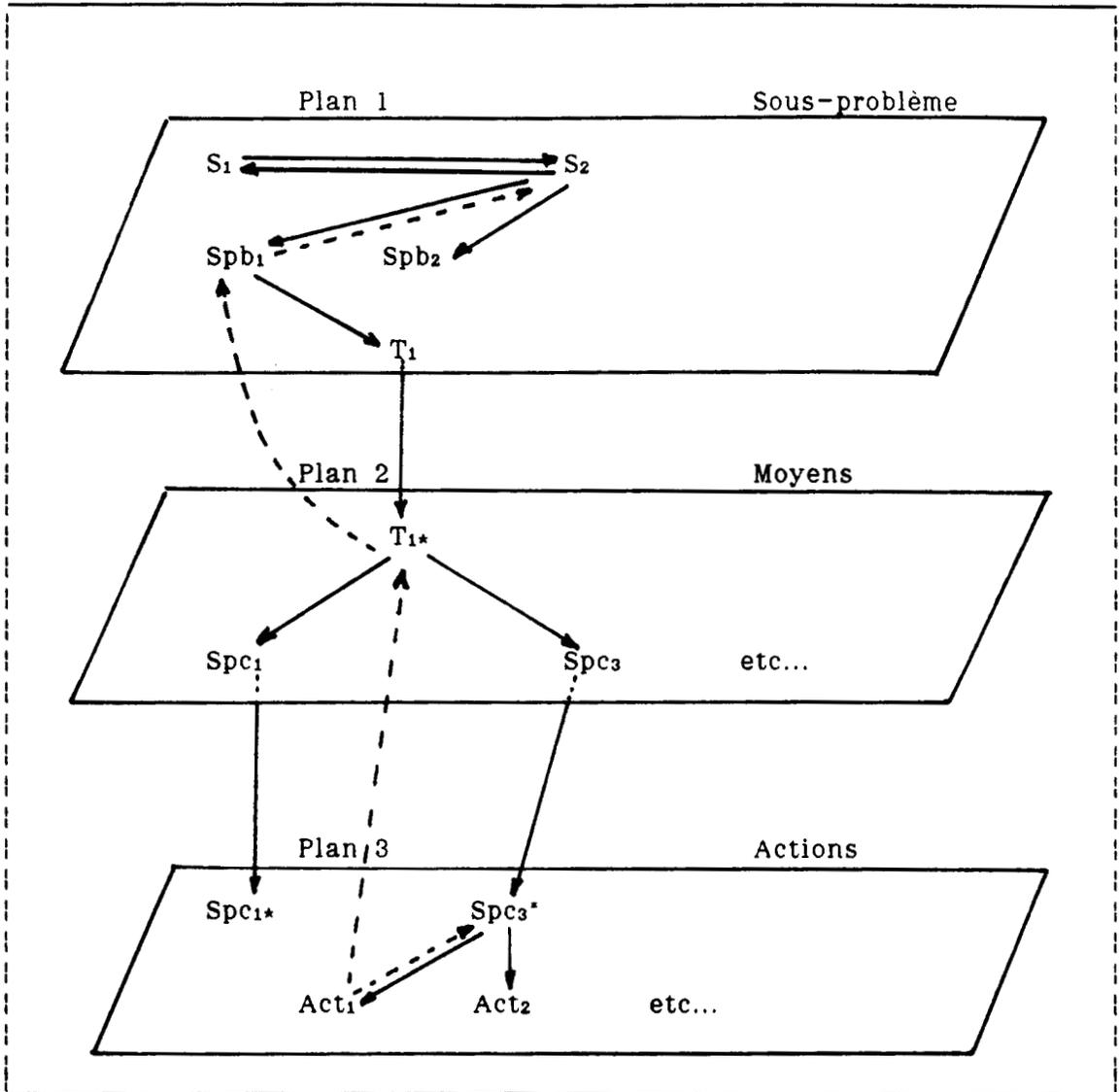
- le prototype que nous avons développé est très ouvert à un usage pédagogique (rappelons que SIMFIDE a été développé dans le cadre d'un projet COMETT ayant pour objectif la réalisation d'un outil de formation à l'analyse financière).
 - il n'y a pas d'obstacle à l'élaboration d'un tel module et à l'adaptation en conséquence du tableau noir à l'usage d'un tel module
- 1) L'activité du système, considérée du point de vue de la formation au diagnostic financier d'entreprises, est foncièrement pédagogique dans la mesure où elle est fondée sur la mise en collaboration du système et de l'utilisateur. Cette activité conduit à un assemblage progressif d'un plan d'actions **engageant ainsi au maximum la responsabilité de l'utilisateur** qui se trouve étroitement associé à l'élaboration, non pas de la solution, mais de **sa** solution.

2) Les recherches dans le domaine de l'explication du raisonnement [KAS 87, 88] montrent que:

- a) l'explication doit d'abord être explication de la stratégie
- b) le modèle de raisonnement des SETC ne permet pas une telle explication de la stratégie car au mieux la connaissance de contrôle y est représentée de façon implicite (caractère "compilé" de la connaissance).
- c) l'obtention de l'explication de la stratégie suppose un type d'architecture de S.E. autorisant une représentation explicite de la connaissance de contrôle.

A cet égard l'architecture que nous proposons pour l'application SIMFIDE présente plusieurs atouts:

- la connaissance stratégique y est décomposée et représentée séparément (stratégie/tâches).
- la base de données que constitue le tableau noir, remplissant ses rôles de tableau de bord de l'application et d'espace de communication inter-tâches, mémorise ce faisant un récit structuré de la consultation.



L'association au graphe précédent d'un certain nombre de liens inverses (cf. les liens en pointillés sur le schéma ci-dessus) permettrait d'obtenir un plan muni de ses justifications.

Les relations:

$$Act_1 \leftarrow Spc_3 \leftarrow T_1 \leftarrow Spb_1 \leftarrow S_2$$

peuvent alors être interprétées de la façon suivante:

Recours au crédit en loi Dailly...

en vue de diminuer le niveau d'indépendance financière...

pour permettre une expansion du niveau d'activité autorisé...

de façon à traiter le problème financier lié au déséquilibre CAA<CAN...

qui est prioritaire dans une situation où CAA<CAN<CAD.

En résumé:

Outre son rôle classique d'espace de communication (partagé par les tâches), le tableau noir remplit dans SIMFIDE une fonction de tableau de bord de l'application. De plus il est potentiellement susceptible de servir de donnée en entrée à un module d'explications.

Les possibilités ainsi offertes à l'utilisateur

- de revenir sur certains choix et/ou d'explorer les conséquences de modifications de certains choix
- d'obtenir un plan accompagné de ses justifications

adjointes à la possibilité qui lui est donnée d'exercer un contrôle direct sur le processus de recherche par les réponses qu'il apporte aux questions posées par les modules de contrôle de rangs supérieurs (stratégie et tâches),

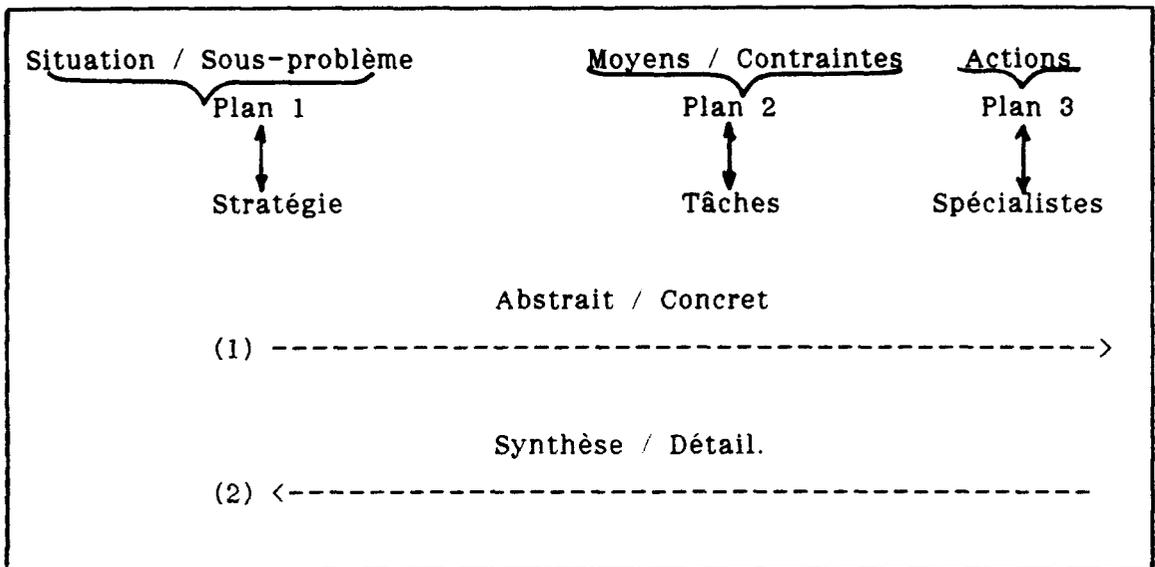
permettent de concevoir le système comme un générateur de scénarios et traduisent le passage d'une problématique de type prothèse cognitive (1) à une approche outil coopératif (2) conforme aux exigences mises en évidence au chapitre I.

(1) la fonction du système est de résoudre le problème comme dans les S.E. financiers classiques (cf. chapitre I).

(2) la fonction du système est d'aider l'utilisateur à résoudre son problème.

4) INTERPRETATION DE LA SEQUENCE DES PLANS DU TABLEAU NOIR .

Les éléments figurant sur un même plan s'y trouvent rassemblés parce qu'ils sont constitutifs de l'espace de recherche d'un même type de source de connaissances.



a) Parcours top/down et résolution dirigée par les buts.

Considérée suivant l'axe (1) de la figure ci-dessus, la séquence des plans et des niveaux forme une structure hiérarchique dans laquelle les éléments de chaque niveau peuvent être conçus comme des spécifications des éléments du niveau immédiatement supérieur.

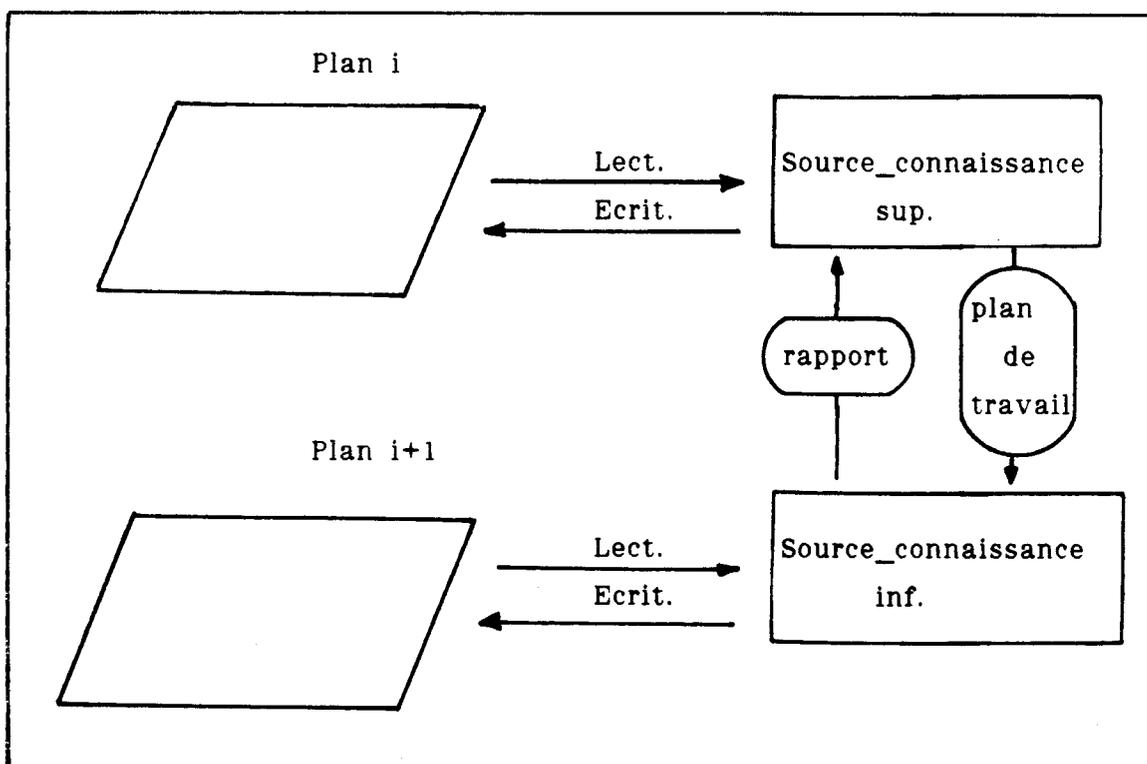
Considéré suivant ce même axe (1), qui correspond au sens d'"écoulement" du flux de contrôle à l'intérieur d'une boucle de contrôle de base du système, le processus d'inscription de résultats d'inférence sur le tableau noir par les sources de connaissances successivement activées traduit la mise en oeuvre d'une stratégie "top-down" consistant en une décomposition analytique du problème en sous-actions conseillées afin de favoriser la réalisation du but initialement assigné (situation cible). Les résultats inférés à un niveau permettent de contraindre la recherche au niveau adjacent

inférieur. On peut parler de résolution dirigée par le but ("goal driven") et conceptuellement analogue à un chaînage arrière.

Ce mode de résolution global est donc inverse de celui mis en oeuvre dans les systèmes de type Hearsay [ERM 88] ou HASP/SIAP [NII 82] où l'usage du tableau noir à des fins d'interprétation se traduisait par l'exploitation d'une stratégie "du bas vers le haut" dans laquelle le processus de résolution, dirigée par les données ("data driven") est analogue dans son principe à un chaînage avant.

b) Parcours down/top et synthèse de résultats.

Considérée suivant l'axe (2) de la figure précédente, la séquence des niveaux du tableau noir forme une structure hiérarchique dans laquelle chaque plan peut être conçu comme une synthèse ou un résumé des éléments se trouvant sur le plan adjacent inférieur.



Lorsqu'une source de connaissances SC_{sup} active une autre source de connaissances de niveau inférieur SC_{inf}, elle le fait en lui communiquant un "plan de travail".

Ce plan de travail consiste en quatre éléments (1):

- le but assigné à la base de connaissances de la SC_inf.
- son contexte d'exécution: ensemble d'informations mémorisées au tableau noir qui seront liées à ses variables locales à l'occasion de l'initialisation de sa base de faits.
- son mode de travail: SC_sup crée une instance de la base de règles de SC_inf en lui transmettant l'identificateur d'une procédure dont l'exécution, à l'initialisation de SC_inf, modifiera les priorités des paquets de règles de la base de règles de SC_inf: SC_sup adapte ainsi le travail de SC_inf au contexte dans lequel il s'exécute, contexte dont SC_sup a une vision plus globale que SC_inf du fait des limites de l'horizon de visibilité de cette dernière (mutuelle ignorance des agents de même niveau).
- son mode de résolution: SC_sup crée une instance du moteur d'inférence en transmettant à SC_inf l'identificateur d'une procédure permettant le paramétrage du moteur d'inférence. Le mode de résolution n'est donc pas uniforme dans le système: une base de connaissances peut être activée de façon à déterminer (et activer) le meilleur moyen ou tous les moyens de tendre vers le but fixé.

Lorsque SC_sup active SC_inf, elle est mise en attente jusqu'à ce que SC_inf ait fini de travailler. SC_inf lui redonne alors le contrôle et lui transmet un rapport contenant des informations de synthèse concernant son activité. Ce rapport est généré quel qu'ait été le résultat de l'activité de SC_inf (notamment dans le cas où cette activité a été nulle⁽¹⁾ et n'a donc donné lieu à aucune inscription au tableau noir). SC_sup, qui reprend le contrôle, peut alors faire usage de ces informations de synthèse: elle peut notamment les écrire sur le plan du tableau noir qui lui est dédié (le plan i sur la figure

(1) qui feront l'objet d'un exposé plus détaillé au paragraphe suivant.

(1) suite au refus de l'utilisateur de recourir à un moyen d'action proposé, ou à l'épuisement des marges de manoeuvre disponibles sur les paramètres en jeu... il s'agit là d'une information de contrôle précieuse pour SC_sup même en l'absence de tout événement au tableau noir

précédente), les remettant ainsi au "pot commun" des sources de connaissances de contrôle de même niveau qu'elle (communication indirecte et médiatisée par le tableau noir pour les sources de connaissances de même niveau).

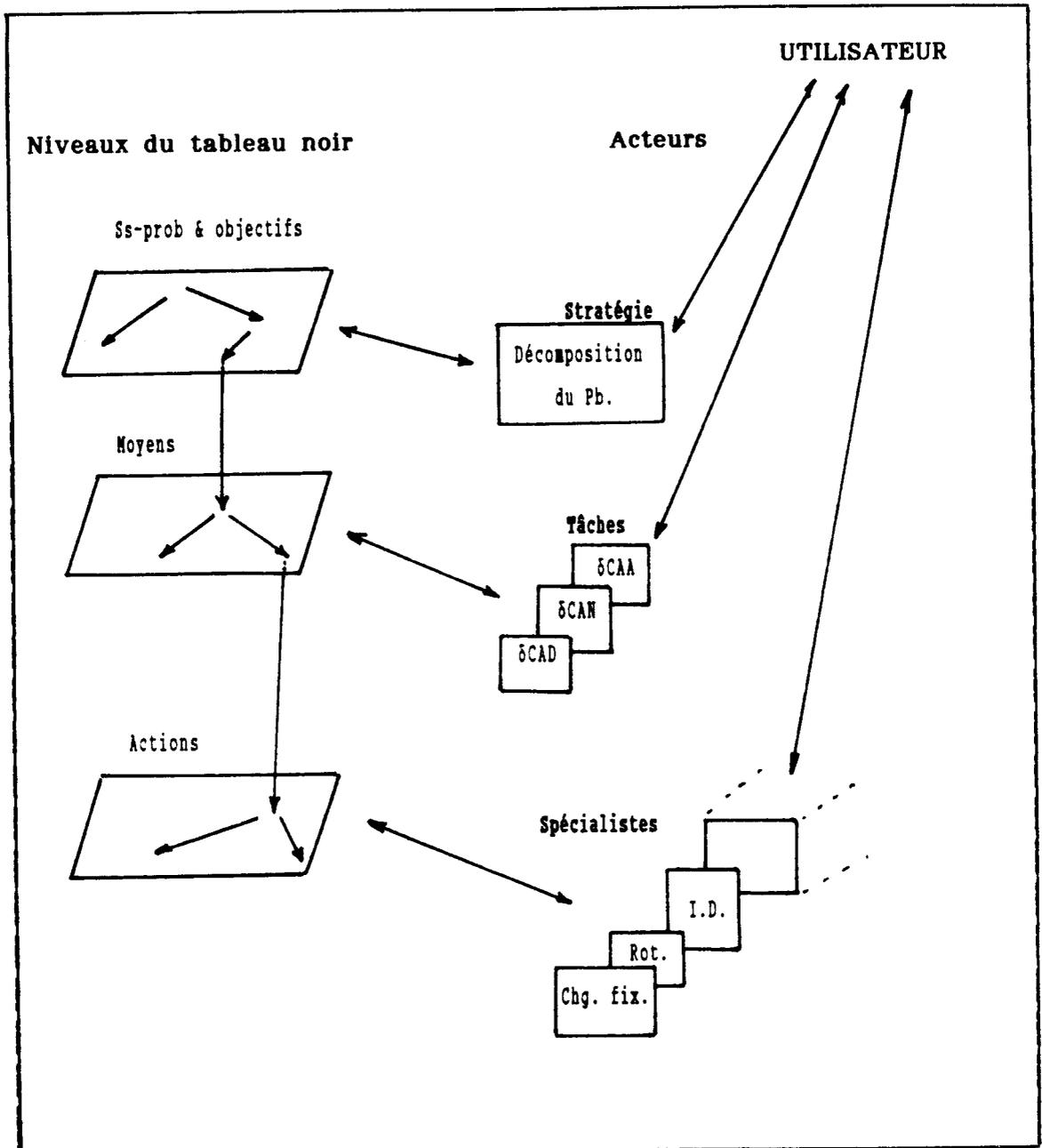
Il résulte de la mise en oeuvre de ce dernier mécanisme que chaque plan du tableau noir, lorsque ce dernier est parcouru "down-top", peut être conçu comme un résumé des informations contenues au plan immédiatement inférieur.

D'un point de vue conceptuel, les deux plans supérieurs du tableau noir de SIMFIDE ont donc un statut fonctionnel analogue à la "list of features" (plan sous-problèmes/objectifs) et à la "list of events" (plan moyens) du système CRYALIS (cf. § II.2.2.2): ces synthèses successives d'éléments appartenant aux plans inférieurs du tableau noir évitent aux sources de connaissances de contrôle un parcours exhaustif du tableau noir et constituent ainsi un élément décisif de l'efficacité du contrôle dans le système.

EN RESUME:

La source de connaissances stratégie détient initialement le contrôle. Elle le cède en activant une ou plusieurs sources de connaissances de niveau inférieur pour le recouvrir ultérieurement lorsque ces dernières ont terminé leur travail. Durant ce cycle de contrôle de base, le flux de contrôle oscille entre les niveaux successifs de la hiérarchie des sources de connaissances jusqu'à descendre au niveau le plus bas (plan d'actions <---> SC spécialistes de contraintes) pour ensuite remonter dans les mêmes conditions jusqu'au niveau le plus élevé. Chaque descente d'un niveau induit, sur le plan correspondant du tableau noir, la génération d'informations traduisant une décomposition analytique et une spécification du problème initial (abstrait---->concret) tandis que chaque mouvement de sens contraire du même flux de contrôle s'accompagne de la génération d'informations de synthèse (détails--->résumé) sur les activités qui viennent d'être exécutées au plan immédiatement inférieur du tableau noir.

En résumé, la représentation adoptée peut être schématisée de la façon suivante:



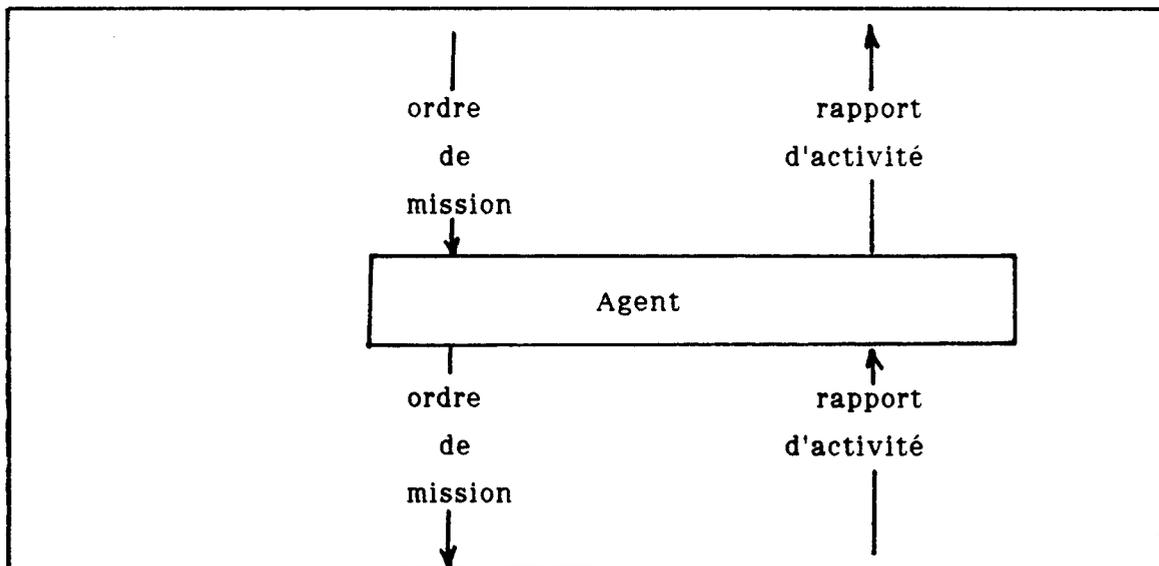
III.2.2.3 STRUCTURE ET COMPORTEMENT

DES SOURCES DE CONNAISSANCES DANS SIMFIDE.

1) COMPORTEMENT D'UNE S.C.

a) Principe.

Tous les agents du système peuvent être conçus comme des prestataires de services et se comportent de façon identique: dès réception d'un ordre de mission, découvrir un moyen de parvenir à l'objectif qui leur a été fixé. Quand un tel moyen est identifié, l'agent considéré en fait usage avant de vérifier s'il est parvenu au but fixé, puis délivre un rapport d'activité au responsable lui ayant initialement adressé la requête.



Le but est communiqué à chaque agent sous forme d'un prédicat à tester et celui-ci exploite sa base de règles en chaînage arrière de façon à identifier un moyen l'autorisant à tester ce prédicat.

Seule diffère la nature de ce moyen, suivant qu'il s'agit d'une source de connaissances de contrôle (stratégie ou tâche) ou d'un spécialiste de gestion d'une contrainte.

Pour une source de connaissances de contrôle qui supervise l'activité d'exécutants d'un rang hiérarchique inférieur au sien, identifier un moyen consiste naturellement à pouvoir répondre à la question: "qui fait quoi et comment? " qui n'est autre que la question à laquelle doit répondre tout système de contrôle.

La base de règles d'une source de connaissances de contrôle est donc organisée de façon à ne l'autoriser à tester son prédicat-objectif qu'après:

1) avoir répondu à cette triple question

2) avoir transmis à l'exécutant ainsi identifié:

- un ordre de mission incluant:

. son objectif (par le moyen qui vient d'être indiqué)

. son contexte d'exécution

. son plan de travail: sous forme de procédures que le subalterne exécutera dès son éveil et qui modifieront les priorités affectées aux règles de sa base et paramètreront le moteur d'inférence du système.

- le contrôle

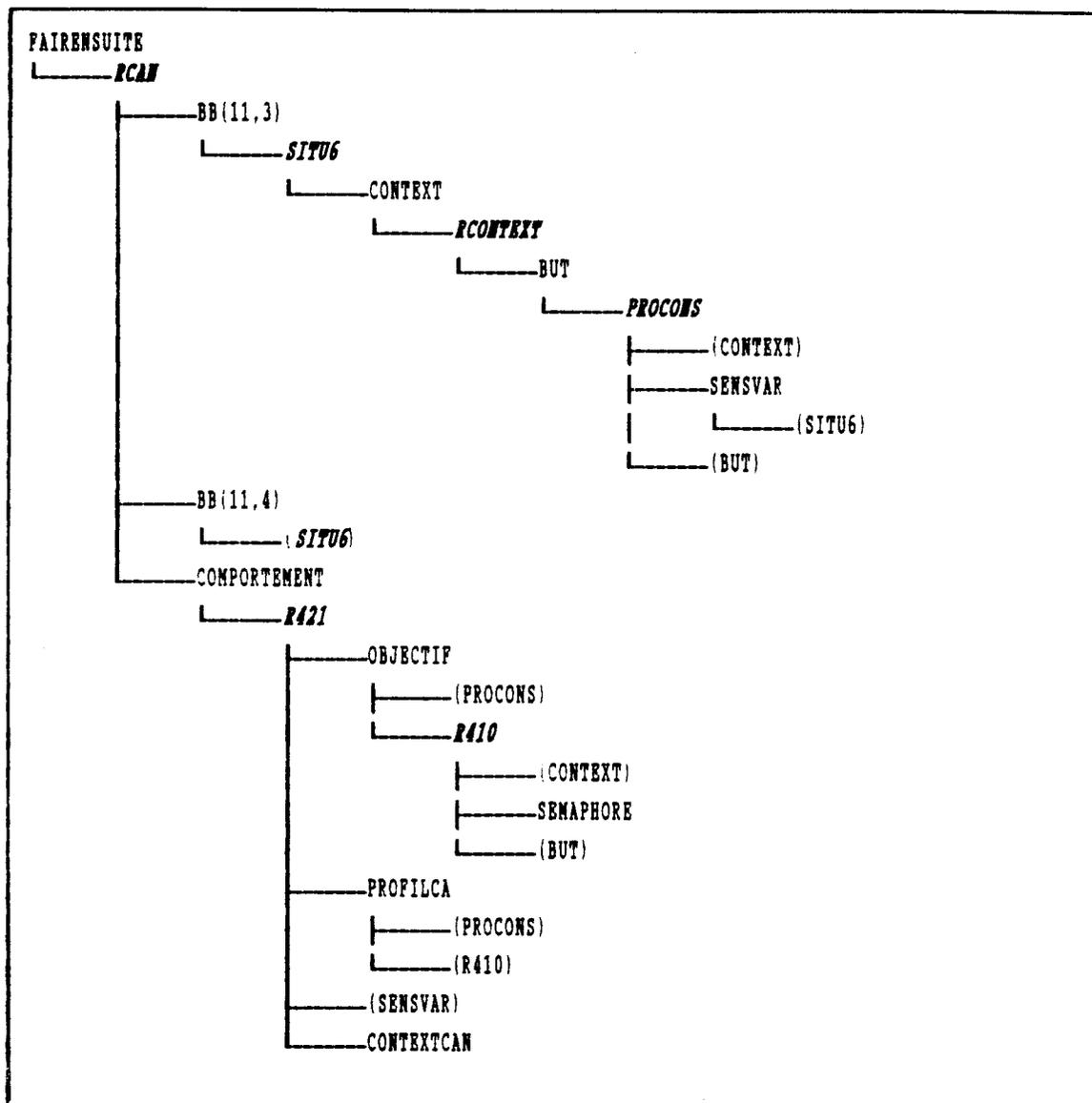
3) avoir récupéré le contrôle.

Pour un exécutant de base (éveillé dans les mêmes conditions: réception d'un objectif et d'un plan de travail), user du moyen identifié consiste à proposer une action spécifique à l'utilisateur du système.

Enfin chaque agent délivre un "rapport d'activité" à son "manager" avant de lui restituer le contrôle.

b) Exemple.

A titre d'illustration, on trouvera ci-dessous un ensemble de quelques règles (écrites en GURU qui a servi d'outil de prototypage) extraites de la base de connaissances de l'expert stratégie et conduisant à l'activation de la tâche CAN. Cette base est explorée en chaînage arrière sur la variable but *faire suite*.



Le schéma ci-dessus donne une représentation arborescente de l'organisation de ces quelques règles (les noms de règles sont en caractères italiques).

```

/*      comportement.rss      */
/*****/

RULE:  Rcan
      cap: 1
      IF:  known("BB(11,3)") & known("BB(11,4)") &
            known("comportement")
      THEN: BB(11,6)="o":continu=true
            if BB(11,3)="+" then libobj=" Accroissement "
                else libobj=" Contraction "
            endif
            libobj=libobj+"du C.A.N."
            putform objform:tally objform
            depl=1
            depc=-2
            nlq=3
            while continu & (not but) & (BB(11,6)="o" or not known("BB(11,6)")) do
            consult bazcan to seek BB(11,2)
            perform rap
            release consult bazcan
            endwhile
            continu=true
            i=1
            while i<=17 do
                j=3
                while j<=6 do
                    BB(i,j)=unknown
                    j=j+1
                endwhile
                i=i+1
            endwhile
            perform ^fin_comportement
      changes: fairensuite

rule: rcontext
      if: but
      then: clear
            if not premod then putform tilt:endif
            perform calcontext
            putform contextf:tally contextf
            if context=2 then numero=1 else numero=context:endif
            f="expcont"+tostr(numero,1,0)
            putform ^f
            tally ^f
            if not context in [1,2,6] then putform nonimp:endif
            choix=menu(menmod3,1,2,25,32,1,9,2)
            if choix=2 then continuel=false:consult break:endif
            if not premod then clear tilt:endif
            premod=false
      changes: context

RULE:  situ6
      if: context=6
      THEN: BB(12,3)="+"
            BB(12,4)=true
            BB(11,3)="-"
            BB(11,4)=true
            sensvar=true

rule:  procons
      cap: 1
      if: known("context") & known("sensvar") & but
      then: objectif="object"+tostr(context,1,0)+".ipf"
            profilcaa="procaa"+tostr(context,1,0)+".ipf"
            profilcan="procan"+tostr(context,1,0)+".ipf"
            profilcad="procad"+tostr(context,1,0)+".ipf"
            meta="meta"+tostr(context,1,0)+".ipf"
            canprem=true:caaprem=true:cadprem=true
            if not (context in[4,5]) then but=false
                else but= true
            endif

```

```

rule: r410
  if: context=6 & semaphore=1 & not but
  then: objectif="object6"
        profilcan="procan6"
        meta="meta10"
rule: r421
  if: known("objectif") & known("profilcan") &
        known("sensvar") & known("contextcan")
  then: comportement=true
end:

```

La règle RCAN dont la partie action active la tâche CAN permet de modifier cette variable *fairensuite*. Le déclenchement de cette règle suppose connue la variable *comportement*. La détermination de cette dernière variable (règle R421) suppose à son tour connues les variables *objectif*, *profilcan* et *contextcan*.

- *objectif* est une variable à laquelle peut être affectée l'identificateur d'une procédure définissant sous forme de prédicat à tester, l'objectif de la tâche qui sera activée.
- *profilcan* est une variable à laquelle peut être affectée l'identificateur d'une procédure dont l'exécution modifiera les priorités des paquets de règles de la base de connaissances de la tâche CAN.
- *contextcan* est une variable à laquelle peut être affectée l'identificateur d'un fichier (1) dans lequel ont été sauvegardées les valeurs des variables de travail de la source de connaissances.

La règle R410 permet notamment d'affecter les variables *profilcan* et *objectif*, compte tenu de la nature de la situation courante (variable *contexte*) et de la dernière activité exécutée (variable *semaphore*):

- *profilcan* <----- *procan6*
- *objectif* <----- *object6*

Une fois le contrôle passé à la tâche CAN (partie action de la règle RCAN), celle-ci, avant exploration de sa base de connaissances, commencera, en initialisation, par exécuter la procédure

(1) fichier de type *contexte* et d'extension .ICF en GURU.

dont l'identificateur a été affecté à la variable *profilcan* (*procan6*) et par lier ses variables locales au contexte d'exécution défini par la sources de connaissances stratégie:

```
perform ^profilcan
```

```
load from ^contextcan
```

(où ^ est un indicateur de substitution).

On trouvera ci-dessous, à titre d'exemple, le listing des procédures *procan6* et *modifreg* appelée par la première.

La procédure *modifreg* est une procédure paramétrée permettant de modifier les caractéristiques (*priority, cost, ready, needs, changes etc...*) attachées à un ensemble de règles: les caractéristiques à modifier et les règles affectées par ces modifications sont passées en paramètres.

```

/*****/
/*  modifreg  */
/*****/
quote=""
i=1
while i<=#a do
    regle=quote+#b+tostr(i,1,0)+quote
    param=quote+#c+quote
    tweak(^param,^regle,#d)
    i=i+1
endwhile

```

La procédure *procan6*, dont un extrait du listing est donné ci-dessous à titre d'illustration, permet de créer une instance de la tâche CAN par instantiation de sa base de règles. Dans le cas particulier illustré ci-dessous, *procan6* adapte le mode de travail de CAN au traitement du problème CAN>CAA, dans le contexte plus particulier où l'effort réalisé sur les paramètres financiers (l'activité précédente concerne la tâche CAA) n'a pas permis d'obtenir une

expansion suffisante du chiffre d'affaires autorisé: l'objectif de rentabilité financière minimale fixé par l'utilisateur du système est alors fortement compromis.

```

/*****/
/*  procan6  */
/*****/
init(prio,0):q=0:init(pr,"")
if precan then
    perform modifreg using "4","\rf\","\priority\","65"
    pr(1)="S'il n'est pas possible d'augmenter"
    pr(2)="d'avantage le CAA (rot & id).",
    pr(3)="accepter une baisse de rent fin"
    pr(4)="risque d'être nécessaire"
    precan=false
else
/*****/
/*    rent fin */
if car(9,6)="n" then q=0
    else q=65+car(9,8)
    endif
pr(9)=q:perform modifreg using "4","\rf\","\priority\","q"
/*    chpers  */
if car(3,6)="n" then q=0
    else q=50+car(3,8)
    endif
pr(3)=q:perform modifreg using "3","\chpers\","\priority\","q"
/*    chg fin  */
if car(17,6)="n" then q=0
    else q=50+max(car(7,8),car(6,8))
    endif
.....
/*****/

i=1
while i<=4 do
    imax=1
    j=2
    while j<=17 do
        if prio(j)>prio(imax) then imax=j:endif
        j=j+1
    endwhile
    if prio(imax)>50 then
        pr(i)=var(imax,1)
        prio(imax)=0
        else break
        endif

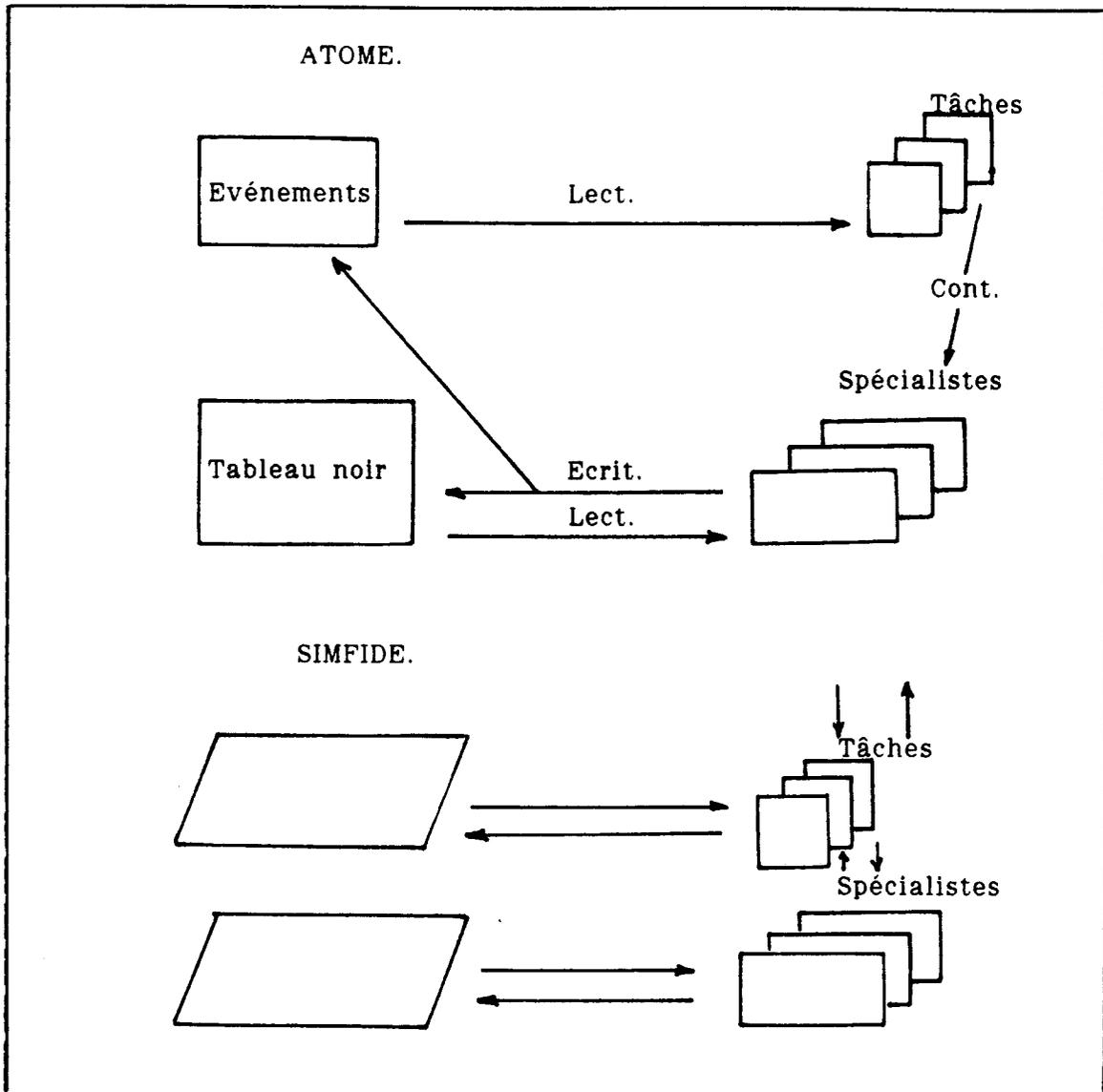
        i=i+1
    endwhile
endif

```

2) STRUCTURE DES SOURCES DE CONNAISSANCES .

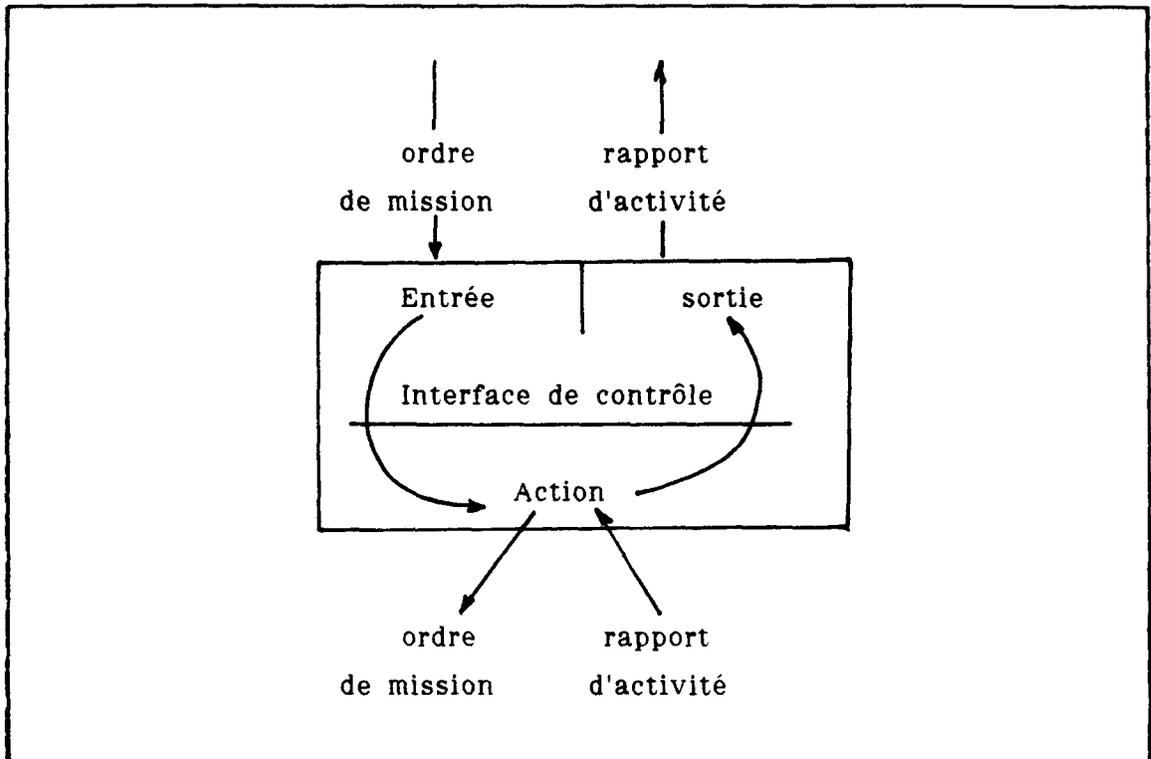
a) Principe.

Le comportement des sources de connaissances du système étant uniforme, quels que soient leur rôle ou leur rang, leur structure et syntaxe le sont également: il n'y a donc pas lieu de les distinguer en fonction de leur rang dans la hiérarchie des sources de connaissances comme cela est habituellement le cas pour les applications à base de tableau noir et contrôle hiérarchique (ATOME ou CRYNALIS par exemple, cf. section 3 du chapitre II).

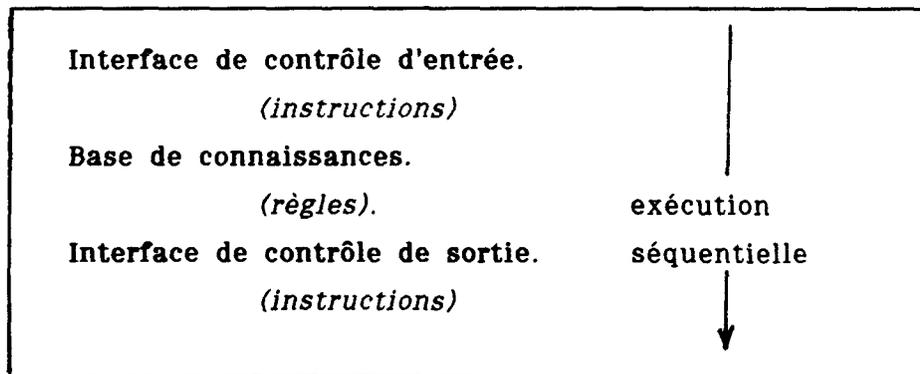


La structure uniforme adoptée dans SIMFIDE permet notamment à la SC_{sup} d'utiliser l'information transmise par SC_{inf} (*rapport*) dans la suite de son raisonnement lorsque le contrôle lui est restitué. A titre d'exemple, un spécialiste ayant averti une tâche de son blocage, celle-ci peut détecter que ce premier blocage induit celui d'un autre spécialiste (connaissances sur les relations et les interactions entre les activités des spécialistes): elle ne manquera pas de mettre cette information à disposition des autres tâches via le plan intermédiaire du tableau noir, leur évitant ainsi d'éventuelles tentatives infructueuses accompagnées de questions sans objet posées à l'utilisateur.

Cette structure uniforme des agents du système peut être schématisée comme ci-dessous.



Cette structure se traduit par l'exécution séquentielle suivante:



Dans le prototype SIMFIDE, le codage des parties interfaces d'entrée et de sortie utilisent respectivement les parties *initial* et *completion* des bases de règles GURU.



b) L'interface de contrôle d'entrée.

Elle a à charge d'exécuter les prétraitements nécessaires à la prise en compte des informations contenues dans l'ordre de mission.

- Exécution de la procédure d'affectation de priorités aux règles (et/ou invalidation de paquets de règles relatifs à certains thèmes).
- Création préliminaire d'un contexte de travail en liant les variables locales de la source de connaissances aux entrées du tableau noir déterminées par le responsable ayant activé la source de connaissances: une source de connaissances voit ainsi son activité orientée vers la "région" de données qu'elle doit traiter.
- paramétrage du moteur d'inférence (1): la base de règles d'une source de connaissances est explorée en chaînage arrière et le parcours de la base peut être limité (recherche du "meilleur" moyen, compte tenu des priorités, permettant de satisfaire le but) ou exhaustif (recherche de tous les moyens permettant de satisfaire le but) (2).

Ces actions peuvent être conçues comme la création d'une instance de la source de connaissances par instanciation de sa base de règles, de sa base de faits et du moteur d'inférence.

Le comportement d'une source de connaissances n'est donc pas rigidement prédéterminé mais décidé dynamiquement par la source de connaissances responsable du contrôle de son activité.

Conformément aux exigences mises en évidence au chapitre I (logique de situation et raisonnement opportuniste), chaque S.C. de contrôle (stratégie et tâches), en instanciant ainsi les S.C. de rang inférieur qu'elles choisissent d'éveiller, contribue, par harmonisation du mode de traitement des S.C. de rang inférieur à leur contexte

(1) La source de connaissances appelante a sauvegardé les valeurs de ces variables de contrôle avant de céder le contrôle.

(2) Variable d'environnement E.RIGR en GURU.

d'exécution, à l'adaptation du modèle représenté par le système au problème courant et à son évolution.

c) L'interface de contrôle de sortie.

Elle a à charge de:

- sauvegarder l'environnement de travail dans un fichier de type contexte puis libérer l'espace mémoire des variables de travail locales à la source de connaissances.
- transmettre à la source de connaissances appelante un "rapport d'activité" contenant des informations de contrôle concernant le résultat de l'activité de la source de connaissances (échec, blocage ou réussite) et son état après exécution (marge de manoeuvre encore disponible sur les moyens qu'elle gère).

La mise en oeuvre de ces transmissions d'informations par les interfaces de contrôle des sources de connaissance suppose simplement l'existence de "boîtes à lettres" dans le système (1).

d) La partie action.

Cette partie action représente le corps de la source de connaissance: elle spécifie, sous forme de règles de production, la contribution de la source de connaissances lorsque celle-ci est activée. Les parties gauches de ces règles testent l'état de variables locales à la source de connaissances (faits initiaux correspondant à des variables de contexte affectées par l'interface de contrôle d'entrée ou faits intermédiaires déduits). Sa partie droite contient une séquence d'actions: création ou modification d'entrées dans le tableau noir, éveil d'une source de connaissances de rang inférieur ou communication avec l'utilisateur du système.

(1) L'implémentation séquentielle de SIMFIDE permet la réalisation de ces "boîtes à lettres" en associant simplement une variable globale à chaque type d'information de contrôle.

Partie action de la source de connaissances stratégie.

L'objectif de la source de connaissance stratégie est de décomposer le problème courant en sous-problèmes exprimés en termes d'évolution souhaitable des trois niveaux d'activité potentiels auxquels elle associe des tâches. La base de règles de la stratégie représente donc la connaissance permettant la décomposition du problème (connaissance globale du processus de résolution) en tâches liées entre elles par des contraintes (connaissance sur la coopération des tâches): l'information transmise par la stratégie aux tâches (but et comportement) leur permettra de prendre en compte ces contraintes (comportement cohérent et coopérant) sans les "comprendre".

La stratégie fonde sa recherche (partie gauche de règles) sur des informations de contrôle figurant dans la partie supérieure du tableau noir. La configuration (et les valeurs d'attributs qui leur sont attachés) des noeuds engendrés durant la résolution traduit la nature du problème courant, l'état de sa solution (sous-problèmes, degré de résolution, marge de manoeuvre disponible, tâches qui y ont été associées) et le contexte dans lequel il se pose: la situation courante se traite aussi en fonction de la situation "prédécesseur" (logique de situation).

Un fait demandable adressé à l'utilisateur permet d'associer celui-ci au contrôle du processus de recherche tandis qu'une requête adressée à une tâche peut permettre de compléter l'information de contrôle disponible au niveau supérieur du tableau noir.

Le résultat de la consultation de la base de la stratégie est d'arrêter un comportement global du système pour le cycle de résolution en cours: déterminer la tâche à exécuter et lui associer un cahier des charges (but, contexte et mode de travail).

Partie action des sources de connaissances de type tâches.

Les tâches sont organisées en trois bases de connaissances correspondant aux trois niveaux d'activité potentiels qu'elles ont pour "tâche" de faire évoluer dans un sens et dans la limite des moyens fixés par la stratégie. La partie action des sources de connaissances de type tâche représente sous forme de règles de production la partie des relations entre les contraintes (auxquelles correspondent les spécialistes intervenant au niveau adjacent inférieur) dont la connaissance est nécessaire pour infléchir le chiffre d'affaire correspondant dans le sens fixé par la stratégie. La tâche va s'appuyer sur cette connaissance pour organiser et contrôler la coopération entre un groupe de spécialistes des contraintes (rotation d'actif, rentabilité financière, risque etc...) par les mêmes méthodes que celles dont disposait la stratégie.

La lecture par la tâche des informations figurant au tableau lui permet:

- de prendre connaissance des spécialistes éventuellement intervenus pour l'action en cours.
- d'apprécier l'efficacité présumée de chaque spécialiste auquel elle peut avoir recours en fonction de:
 - la marge de manoeuvre encore disponible sur la contrainte dont il a à charge d'assurer la gestion
 - son efficacité présumée mesurée par l'élasticité du niveau d'activité considéré par rapport au paramètre en question. A l'initialisation de la tâche, ces informations seront lues sur le tableau noir. Associées aux priorités conseillées par la stratégie (qui tiennent compte du contexte d'intervention de la tâche) elles permettent d'affecter des priorités aux paquets de règles de la base de connaissance de la tâche.

Partie action des sources de connaissances de type spécialiste.

Leurs bases de connaissances ont pour fonction de permettre à l'utilisateur de se situer par rapport à un paramètre/moyen d'action: apprécier la marge de manoeuvre dont il dispose sur ce paramètre, les moyens susceptibles d'être mis en oeuvre pour en infléchir l'évolution, formuler une nouvelle hypothèse concernant sa valeur. Chaque spécialiste a accès à la liste des mesures qu'il a déjà adoptées.

**III.3. SIMFIDE:
CONCLUSION.**

**III.3.1 SIMFIDE ET LA PROBLEMATIQUE DU CONTROLE
DANS LES ARCHITECTURES DE TABLEAU NOIR .**

Le paradigme du tableau noir s'inscrit dans un univers dont les agents s'ignorent mutuellement.

Lorsque le caractère décomposable du problème s'y prête, ce sont les soucis de réduction de complexité et de modularité de l'application qui incitent à distribuer l'expertise entre agents s'ignorant mutuellement.

Se trouve alors du même coup imposée la nécessité:

- du tableau noir: de façon à assurer une communication qui ne peut être qu'indirecte entre agents mutuellement ignorants
- du contrôle: comment obtenir en effet des agents du système un comportement coopérant alors même qu'ils s'ignorent?

Pour peu que le domaine d'application n'exclut pas a priori la possibilité de conflits, de deux choses l'une:

- ou bien l'on dispose de méthodes à "inoculer" à nos agents et qui en garantiront le caractère **spontanément** coopératif: on pourra alors parler de **contrôle distribué** (1).
- ou bien il faut se résoudre à introduire dans notre société d'autres agents chargés de contrôler l'activité des premiers.

Ils sont bien autres puisqu'eux au moins ne pourront faire l'économie de connaître les premiers: chargés de les contrôler, ils ne peuvent se permettre d'ignorer la nature de leurs activités et les interactions possibles entre ces activités. A la différence des premiers, ils véhiculent donc un modèle d'autrui, au minimum un modèle du subalterne. Dans ce dernier cas (modèle du subalterne: les agents chargés du contrôle s'ignorent mutuellement et communiquent eux aussi via un tableau noir), se repose aussitôt à leur sujet le problème initial: cette régression ne peut finalement se résoudre que par un contrôle pyramidal que nous avons appelé contrôle hiérarchique.

Dans une telle société (à contrôle hiérarchique), les agents de rangs hiérarchiques contigus ne peuvent que fort difficilement s'ignorer puisque les premiers contrôlent les seconds. A vouloir qu'il en soit ainsi il ne peut en résulter qu'une difficulté accrue. Ainsi, dans les architectures à base de tableau noir, le souci d'une trop stricte conformité à la métaphore fondatrice s'est jusqu'à présent traduit par la volonté de maintenir, autant que faire se pouvait, la fiction d'une possible totale absence de communication directe, même entre agents appartenant à des niveaux hiérarchiques différents.

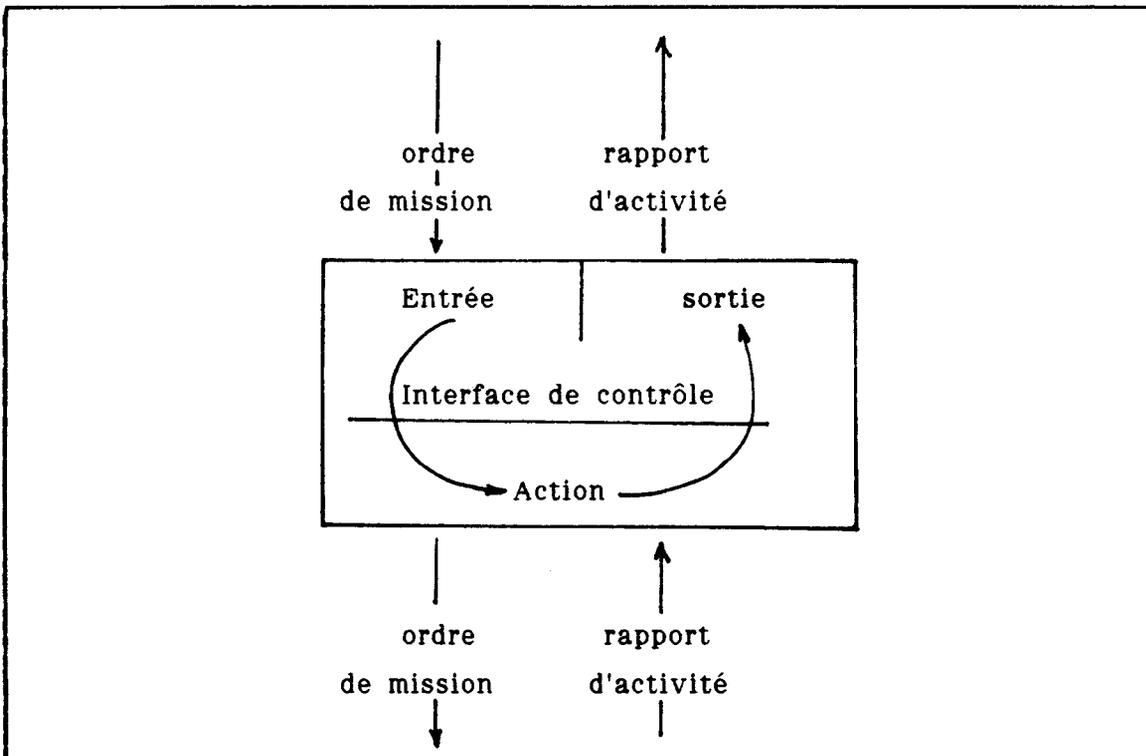
Il en a résulté:

- soit un contrôle faible ou implicite (dans les modèles à contrôle centralisé ou à base de tableau noir), qui est ainsi rendu inapte à la représentation d'une connaissance de type stratégique.
- soit un défaut d'uniformité (dans les architectures à contrôle hiérarchique) nuisible à la généralité du modèle.

(1) Quelques éléments de réflexion sur ce thème ont été présentés dans la section 2 du chapitre II.

Le modèle utilisé pour l'application SIMFIDE est fondé sur le principe d'accompagner la franchise du contrôle (qui est le propre d'une architecture de tableau noir à contrôle hiérarchique), de la franchise de la communication de l'information de contrôle (communication directe des informations de contrôle).

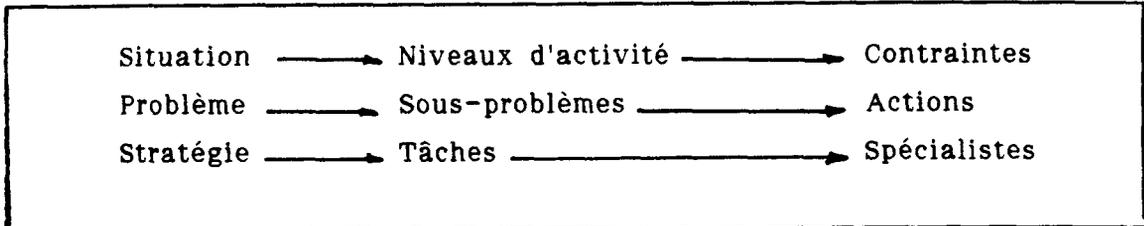
Coexistent dès lors dans le système deux protocoles de communication: l'un indirect (le partage d'informations) pour les agents d'une même classe, l'autre direct (transmission de messages) entre agents de classes adjacentes. Le modèle de communication est dédoublé dans le système, mais du même coup le comportement des agents du système, ainsi que leur structure, s'en trouvent uniformisés.



Dès lors le nombre exact de niveaux de contrôle, qui ne saurait être imposé de l'extérieur par le modèle informatique (1), ne dépend plus que de la sémantique propre de l'application.

(1) puisque le paradigme sur lequel celui-ci est fondé ne l'implique aucunement. Il impose la présence d'au moins un niveau de contrôle, rien de plus.

L'application SIMFIDE fait état de deux niveaux de contrôle parce que l'expertise représentée y trouve son compte.



L'architecture proposée par le modèle SIMFIDE est donc neutre vis à vis du nombre de niveaux de contrôle parce qu'elle est en conformité avec la logique du modèle sous-jacent qui est elle aussi neutre sur ce point: au moins un. Le comportement des agents étant uniforme dans le système, leur structure individuelle et collective (groupe d'agents pour un plan donné du tableau noir), l'est également. La multiplication éventuelle des niveaux pour une application donnée n'amènerait qu'une reproduction à l'identique d'une structure définie.

III. 3. 2 COMPORTEMENT DU SYSTEME .

L'architecture permet un comportement du système répondant aux spécificités du domaine d'application telles qu'elles ont été présentées dans la section 3 du chapitre I.

1) SOUPLESSE ET INTERACTIVITE .

a) Intégration de l'utilisateur au processus de recherche.

D'une part, par les réponses qu'il apporte aux questions posées par les modules de rang supérieur, l'utilisateur participe au contrôle du processus de recherche.

- (1) Un équilibre des responsabilités est ainsi établi entre le système et le responsable qui y a recours.

D'autre part, les réponses de l'utilisateur à certaines des questions (marge de manoeuvre) posées par les modules intervenant au niveau plan d'actions, parce qu'elles sont intégrées aux informations de contrôle sur la base desquelles la stratégie fonde sa recherche (transmission des rapports d'activité et parcours "down-top" du tableau noir), permettent d'intégrer le point de vue de l'utilisateur à la représentation de la situation sur laquelle raisonne le système.

(2) Un équilibre est ainsi obtenu entre la vision que le système a du problème courant (priorités a-priori fixées par le concepteur de la base de connaissances de la stratégie) et la perception qu'en a l'utilisateur.

En raison de cette double caractéristique, l'architecture proposée nous semble permettre de modéliser un processus de recherche d'un équilibre entre les objectifs de l'utilisateur et les contraintes représentées par le système.

Cet équilibre est obtenu comme résultat d'une interaction mixte fondée sur la mise en coopération de l'utilisateur et du système: l'utilisateur, participe activement au processus de résolution, tandis que l'expertise du système l'aide à fonder ses choix.

C'est au travers de cette interaction que l'activité du système parvient à simuler l'expert dans son activité de consultant auprès du responsable d'entreprise.

b) Aspects pédagogiques.

Le tableau noir:

- comme tableau de bord de l'application entretenant une représentation de l'état du traitement de la situation courante dans laquelle les choix sont mémorisés à titre d'hypothèses, permet de concrétiser, dans le cadre d'une démarche système expert, la fonction "what if" caractéristique des systèmes interactifs d'aide à la décision.

- en tant qu'il mémorise un "récit" structuré de la consultation est susceptible de servir de donnée d'entrée à un module d'explication permettant d'obtenir, en sortie du système, un plan muni de ses justifications.

Ces possibilités d'exploration de scénarios variés et d'obtention d'explications caractérisent un système dont la vocation est moins de fournir LA solution, que d'apprendre à l'utilisateur à résoudre lui-même son problème en l'aidant pas à pas dans l'élaboration de sa solution.

Cette intégration de l'utilisateur au processus de recherche et les qualités pédagogiques du système traduisent le passage d'une démarche "prothèse cognitive" à une démarche "outil coopératif" conforme au cahier des charges initialement élaboré.

2) REPRESENTATION DES CONNAISSANCES STRATEGIQUES ET RAISONNEMENT OPPORTUNISTE .

Les connaissances stratégiques dont il a été initialement souligné l'importance dans le domaine de la gestion (logique de situation) trouvent dans les bases de connaissances de contrôle un **espace de représentation propre**. Alors que les S.C. de rang inférieur représentent une connaissance opérationnelle de type publique, les S.C. de rang supérieur véhiculent le **"mode d'emploi" qui est fonction du contexte dans lequel se pose le problème courant**.

Cette concrétisation du contrôle par utilisation de la connaissance stratégique se traduit par la mise en oeuvre d'un modèle de raisonnement opportuniste:

Les agents du système adaptent au contexte d'exécution:

- leurs comportements et modes d'intervention.
- la "région" du problème sur laquelle ils interviennent. Le tableau noir (comme tableau de bord de l'application) offre à

cet effet une représentation distribuée de sous-problèmes en suspens et de solutions partielles dans laquelle la création d'un îlot de faisabilité (suite à un changement d'avis de l'utilisateur par exemple) peut susciter des recherches sur les moyens d'action adjacents les plus efficaces.

CONCLUSION.

L'apport de notre travail s'inscrit dans deux directions qui en définissent les prolongements possibles.

(I) Comme il a été mentionné dès l'introduction de ce travail, processus de décision de l'acteur économique et Systèmes Experts traduisent une profonde identité de problématique.

- Le processus de décision dans l'entreprise traduit la mise en oeuvre d'une pragmatique de la décision où le savoir-faire du gestionnaire renvoie, secondairement à sa connaissance des techniques de gestion, et prioritairement à sa connaissance des modalités d'utilisation de ce savoir selon le contexte dans lequel l'action est entreprise (logique de situation [ERN 86]). Ainsi, dans des situations où le jugement du décideur est déterminant, celui-ci atteint sa plus grande efficacité, non en se référant à une rationalité de comportement qui pourrait lui être dictée a priori sous forme de procédures d'optimisation des moyens d'atteindre un objectif a priori connu, mais en se référant à une rationalité subjective basée sur son expérience. Cette particularité du domaine de la gestion explique qu'il ait pu constituer le terrain de prédilection de développement des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (S.I.A.D.) fondés sur le principe de laisser une part importante du contrôle de la recherche à l'utilisateur du système.
- D'un autre côté les Systèmes Experts sont fondés sur le principe de modéliser la mise en oeuvre d'une rationalité limitée en vue de rechercher la solution d'un problème. La rationalité y est réputée limitée parce qu'elle se "limite" à la recherche d'une solution seulement satisfaisante (et non théoriquement ou hypothétiquement optimale) s'appuyant sur un processus de recherche temporel (tout n'est pas supposé connu a priori) et rationnellement organisé: la rationalité est dans la procédure (rationalité procédurale [SIM 86]).

La notion de rationalité limitée se trouve donc à l'intersection de la problématique des S.E. et de la problématique de l'acteur économique en situation de décider. Les propositions que nous avons faites permettant d'intégrer l'apport des systèmes experts à l'acquis des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision en vue de rendre féconde cette convergence nous semblent constituer un premier apport de notre travail dans le prolongement de [KLE 88] ou [LEV 89].

Cette intégration S.E./S.I.A.D. impose, notamment dans le domaine de l'analyse financière, de renoncer à une démarche postulant implicitement la neutralité du choix de l'expertise qui ne poserait donc d'autre problème que celui d'être recueillie et représentée.

En effet la nature des outils de représentation jusqu'à présent disponibles (mathématique et recherche opérationnelle) a imposé à la théorie économique de placer à son fondement l'hypothèse de comportement rationnel optimal des agents économiques (en vue de rendre possible l'agrégation de ces comportements: élaboration de modèles macro-économiques). Ce comportement (rationnel optimal) a même été classiquement inscrit au coeur de la définition de l'objet de l'Economie politique ([GOD 69], [LAT 73]). Celle-ci, selon la célèbre formule de Robbins [ROB 47] reprise par Von Mises ou Samuelson [SAM 69], est *"la science qui étudie le comportement humain comme une relation entre des fins et des moyens rares qui ont des usages alternatifs."*

Il en a souvent résulté dans le domaine connexe des techniques de gestion (et le domaine de l'analyse financière est à cet égard exemplaire), des analyses fournissant un cadre normatif à un comportement rationnel optimal. Les théories économiques du comportement rationnel (du producteur, du consommateur) procèdent en effet à une décomposition de chaque décision en tous ses éléments et déterminent pour chacun d'eux les conditions optimales de sa réalisation. La connaissance de ces conditions d'optimalité fournit alors des normes (de maximisation du profit pour le producteur rationnel ou de maximisation de l'utilité pour le consommateur rationnel) qui déterminent les formes de comportement les mieux adaptées au but poursuivi.

Ces analyses (normes de comportement rationnel optimal) présentent le double défaut:

- d'être faiblement opératoires du point de vue d'une utilisation pratique qui est celle visée par l'acteur économique en situation de prise de décision,
- d'être représentatives d'une problématique ("*rationalité substantive*" [SIM 86]) foncièrement inadaptée à celle des systèmes experts (rationalité limitée). Ceux-ci ne peuvent dès lors trouver dans les expertises correspondantes prétexte à concrétiser un apport pourtant potentiellement fructueux au domaine de la gestion.

Aussi notre démarche n'a-t-elle pas consisté à considérer l'expertise comme donnée mais à:

- (1) partir des spécificités du besoin afin d'élaborer un cahier des charges: nécessité d'élaborer un système intelligent d'aide à la décision.
- (2) réfléchir sur le choix d'une expertise appropriée compte tenu de cet objectif: rejet des analyses de ratios en termes de sanction du passé au profit d'une analyse en termes de simulation du futur.
- (3) analyser la connaissance sous-jacente à cette expertise de façon à déterminer les qualités requises par l'outil informatique de représentation de cette connaissance.

Cette analyse de la connaissance a orienté notre travail vers le choix d'un modèle fondé sur une représentation distribuée de l'expertise. L'étude de ces modèles distribués et de leurs limites en termes de représentation de connaissances stratégiques a conduit à l'élaboration d'une architecture de type multi-experts à base de tableau noir et de contrôle hiérarchique dans laquelle a été introduit le principe d'une communication directe et bilatérale des informations de contrôle entre agents de rangs hiérarchiques contigus. C'est cette architecture que nous avons utilisée pour l'application SIMFIDE dont un prototype a été élaboré à partir du générateur de système expert GURU. Les caractéristiques de comportement de ce prototype traduisent

une réconciliation S.E./S.I.A.D. autant en raison du choix de l'expertise que de l'architecture logicielle adoptée. A l'intersection du S.E. et du S.I.A.D., l'activité du système traduit la mise en oeuvre d'un processus de recherche d'un équilibre entre les objectifs de l'utilisateur et les contraintes représentées par le système. Cet équilibre est obtenu comme résultat d'une interaction mixte fondée sur la mise en coopération de l'utilisateur et du système: l'utilisateur participe activement au processus de résolution tandis que l'expertise du système l'aide à fonder ses choix.

L'état actuel de ce prototype, s'il permet, à titre de démonstrateur, de valider l'intérêt de la démarche adoptée (choix de l'expertise et de l'architecture), demeure cependant encore rudimentaire (la connaissance intégrée à certains spécialistes est par exemple réduite au strict minimum) et réclame de nombreuses extensions, notamment en vue de souscrire pleinement à l'objectif du projet européen COMETT de réalisation d'un logiciel de formation à l'analyse financière (implémentation du module d'explication). Ces extensions pourront cependant être apportées sans modification des spécifications de l'architecture actuelle qui répond à l'objectif initial de réalisation d'un système intelligent d'aide à la décision.

(II) Le thème des univers multi-agents bénéficie depuis plusieurs années en Intelligence Artificielle, notamment aux Etats Unis (Workshop on Distributed Artificial Intelligence, AAI-Workshop on Blackboard Systems), d'un intérêt grandissant en raison de sa fécondité scientifique [FER 88].

L'étude du chapitre II relative aux modèles multi-agents sur lesquels se fondent les actuels systèmes de résolution distribués de problèmes a montré que certains problèmes propres à ces modèles demeurent encore mal résolus, voire mal posés. C'est d'ailleurs cette absence de solution claire dans ce domaine qui nous a imposé le préalable d'une telle étude.

Notre contribution dans ce domaine a consisté à:

- proposer une formulation du problème rencontré par ces modèles en termes de conflit *cohérence globale VS actions et connaissances locales*
- proposer, dans le cadre de ces actuels modèles de résolution distribuée de problèmes, des solutions à ce problème:
 - . modèle de type B.N.B. dans le cadre de la métaphore du réseau de contrats
 - . modèle de type SIMFIDE dans le cadre de la métaphore du tableau noir.

Les résultats de cette étude du chapitre II traduisent le faible degré de maturité des solutions actuellement proposées dans le cadre du paradigme propre à l'Intelligence Artificielle Distribuée. La littérature dans ce domaine se situe trop souvent à un ("méta-") niveau trop proche d'une métaphore fondatrice à laquelle sont prêtés des mérites que ne justifient pas les solutions concrètement proposées (notamment en matière d'expression du contrôle), en vue d'une réelle implémentation de ces modèles. Notre apport, lié à une étude préalable des modèles multi-agents propres à l'I.A.D. (approche que l'on pourrait qualifier de "*descendante*": métaphore --> modèle --> implémentation) nous semble désormais devoir être complété (dans le cadre d'une "*approche ascendante*") par l'apport des recherches actuelles sur les méthodologies nouvelles de conception de systèmes d'exploitation réparti (CHORUS, OMPHALE par exemple) qui visent à offrir des solutions aux problèmes de partage des ressources et du contrôle en s'appuyant sur les notions d'acteurs (ou d'*objets actifs* [GEI 89]) et les protocoles de communication qui leur sont associés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [ABE 84] **Abel J., Menu J., Probst R.**
"Un prototype de système expert pour la finance."
 Journées Internationales d'Avignon. Avignon, 1984
- [AGH 86] **G. Agha**
"Actors: a model of concurrent computation in distributed systems."
 MIT Press. 1986.
- [AGH 87] **G. Agha, C. Hewitt**
"Concurrent programming using actors."
 in A.Yonezawa, M. Tokoro
"Object Oriented Programming."
 MIT Press 1987.
- [ALF 83] **G. Alfonsi, P. Grandjean**
"Pratique de gestion et d'analyse financière."
 Les éditions d'organisation
 Paris, 1983
- [AUC 84] **Aucoin M., Pham-Hi D.**
"Un système expert à l'institut de formation de la Banque de France."
 Colloque INGETEF Paris, Décembre 1984.
 repris in Bancatique N°2, février 1985
- [AUC 85] **Aucoin, Micha**
"Système expert pour l'aide au diagnostic d'entreprise."
 Colloque SIAD. Paris 1985
- [BAL 80] **R. Balzer, L.D. Erman, P.E. London, C. Williams**
"Hearsay-III: a domain independent-framework for expert systems."
 Proceedings of the First National Conference on
 Artificial Intelligence. (AAAI-80)
 Standford, California, 1980.

- [BAR 81] A. Bar, E.A. Feigenbaum
"The handbook of artificial intelligence."
Kaufmann
"Le manuel de l'intelligence artificielle."
Eyrolles, 1986
- [BEN 86] G. BENCHIMOL, P. LEVINE, J.-Ch. Pomerol
"Systèmes experts dans l'entreprise."
Hermès, Paris, 1986.
- [BEN 88] Bensimon M., Ducamp M., Nguyen L.
"Etude sur les systèmes experts en milieu financier."
EC2, 1988
- [BOU 78] J.L. Boulot et al.
"L'analyse financière."
Publi-Union Editions, 1978.
- [BUC 77] B.G. Buchanan, R. Davis
"Meta-level knowledge: overview and application."
IJCAI 5th, 1977.
- [BUI 87] L. Buisine
"Intelligence artificielle et diagnostic d'entreprise."
Colloque Systèmes Experts & Gestion d'Entreprise.
Versailles, novembre 1987.
- [BUI 88a] L. Buisine, G. Comyn, J.P. Raman.
"Système expert pour la formation à l'analyse financière."
Congrès Européen Intelligence Artificielle et Formation.
Lille, septembre 1988
- [BUI 89a] L. Buisine, G. Comyn.
*"Expertise de gestion, connaissances stratégiques et
système multi-experts hiérarchique: le système SIMFIDE."*
Congrès INFORSID.
Nancy, Mai 1989.

- [BUI 89a] L. Buisine, G. Comyn.
"Comment prévoir et définir une stratégie financière pour PME par système expert."
 Colloque Les Hommes de la Finance et les
 Systèmes Experts.
 Paris, décembre 1989.
- [CAM 83] S. Cammarata, D.M. Arthur, R. Steeb
"Strategies of cooperation in distributed problem solving."
 Proceedings of the 1983 International Joint Conference
 on Artificial Intelligence. 1983.
- [CAR 89] B. Carré.
*"Méthodologie orientée objet pour la représentation des
 connaissances, concepts de points de vue,
 de représentation multiple et évolutive d'objet."*
 Thèse Université des Sciences et Techniques de Lille.
 Lille, janvier 1989.
- [CHA 88a] F. Charpillet, J.P. Haton, B. Maître, H. Laâsri, T. Mondot
*"ATOME: A blackboard architecture with temporal
 and hypothetical reasoning."*
 European Conference on Artificial Intelligence.
 ECAI-88, Munich, W. Germany, August 1988.
- [CHA 88a] F. Charpillet, J.P. Haton, B. Maître, H. Laâsri, T. Mondot
*Coordination de sources de connaissances opérant
 dans un univers incomplet et évolutif: Etudes et
 réalisations."*
 Rapport Technique CRIN 88-R-143. Décembre 1988.
- [COH 87] E. Cohen
"Analyse financière."
 Editions Economica, 1987.
- [COL 87] Colin M.
"SEFIA: aide au diagnostic d'entreprises."
 Systèmes experts & Gestion d'entreprises.
 Versailles, Novembre 1987.

- [CRA 89] L.D. Craig
"The CASSANDRA architecture: distributed control in a blackboard system."
Ellis Horwood Edition 1989.
- [DAV 78] R. Davis, R.G. Smith
"Applications of the contract net framework: distributed sensing."
ARPA Distributed Sensor Net Symposium.
Pittsburgh, 1978 12-20.
- [DAV 83] R. Davis, R.G. Smith
"Negociation as a metaphor for distributed problems solving."
Artificial Intelligence Magazine. 20 1983
- [DEL 87] F.P. Delahaye
"Systèmes experts: organisation et programmation des bases de connaissances en calcul propositionnel."
Eyrolles, 1987.
- [DRE 79] H.L. Dreyfus
"Intelligence artificielle: mythes et limites."
Flammarion 1984.
- [DUP 83] J.P. Dupuy
"De l'économie considérée comme théorie de la foule."
Standford French Review
VII, pp245-243; 1983
- [DUP 86] J.P. Dupuy, H. Atlan, M. Koppel
"Individual alienation and systems intelligence."
L'économique et l'intelligence artificielle.
Aix-en-Provence, Septembre 1986.
- [DUR 89] E.H. Durfee, V.R. Lesser, D.D. Corkill
"Trends in Cooperative Distributed Problem Solving."
IEEE Transactions on Knowledge and Data Engeenering,
Vol 1, N°1, March 1989.

- [DUS 87] A. Dussauchoy, J.M. Chatain
"Systèmes experts. Méthodes et outils."
 Eyrolles, 1987
- [ENG 88] R. Engelmores, T. Morgan
"Blackboard systems."
 Addison-Wesley 1988.
- [ERM 75] L.D. Erman, V.R. Lesser
"A multi-level organization for problem solving using many diverse cooperating sources of knowledge."
 Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence.
 (Ijcai 75) Tbilisi, Georgia, Ussr, 1975.
- [ERM 80] L.D. Erman, F. Hay-Roth, V.R. Lesser, R.D. Reddy
"The Hearsay-II speech understanding system: integrating knowledge to resolve uncertainty."
 ACM Computing Survey 12, 1980.
- [ERM 81] L.D. Erman, P.E. London, S.F. Fickas
"The design and an example use of Hearsay-III."
 Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence.
 (Ijcai 81) Vancouver, British Columbia, 1981.
- [ERN 86] Ernst C. et al.
"Introduction aux systèmes experts de gestion."
 Eyrolles, 1986
- [ERN 88] Ernst C. et al.
"Les systèmes experts de gestion: banque, finance, marketing."
 Eyrolles, 1988
- [FAR 85] FARRENY H.
"Les systèmes experts: principes et exemples."
 Cepadues Editions 1985

- [FEI 88] **E.A. Feigenbaum.**
in "Blackboard Systems."
Eds Addison-wesley 1988.
- [FER 88] **J. Ferber, M. Ghallab.**
*"Problématique des univers multi-agents
intelligents."*
Actes PRC/IA, Toulouse 1988.
- [FOX 81] **M.S. Fox**
"An organizational view of distributed systems."
IEEE Transactions on Systems, Ma., and Cybernetics
Vol. SMC-11, N°1, January 1981.
- [GAL 73] **J. Galbraith**
"Designing complex organizations."
Addison-Wesley, 1973.
- [GAL 77] **J. Galbraith**
"Organizations Design."
Addison-Wesley, 1977.
- [GAS 88] **L. Gasser, A.H. Bond**
"Readings in Distributed Artificial Intelligence."
Morgan Kaufmann Publisher, 1988.
- [GEN 83] **M. Genesereth, D.B. Lenat, R. Davis, J. Doyle, I. Godstein,
H. Schrobe**
"Reasoning about reasoning."
in [LEN 83] Chap. VII, pp 219 - 239.
Addison-Wesley, 1983.
- [GLA 86] **M. Glais**
"Le diagnostic financier de l'entreprise."
Edition Economica, 1986.
- [GOD 69] **M. Godelier**
"Rationalité & irrationalité en économie."
Collection Maspero
1971

- [HAT 87] J.P. Haton, B. Maître, H. Laâsri, T. Mondot
"ATOME: Another TOOL for developing Multi-Expert Systems."
 Workshop on Blackboard Systems: Implementation Issues. AAAI-87 Seattle, Washington, 1987.
 Rapport technique CRIN 87-R-040.
- [HAT 88a] J.P. Haton, B. Maître, H. Laâsri, T. Mondot
"ATOME: Advanced tool for multi-level knowledge organisation."
 The Second International Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Planning and Control.
 Charleston, South Carolina, May 1988.
- [HAT 88b] J.P. Haton, B. Maître, H. Laâsri
"Hybrid control to achieve flexibility and efficiency in blackboard-based system."
 Second Blackboard Systems Workshop.
 AAAI-88, St-Paul, Minnesota, USA
 August 1988.
- [HAT 88c] J.P. Haton, B. Maître, H. Laâsri
"Organisation, coopération et exploitation des connaissances dans les architectures de blackboard: cas de ATOME."
 8^{èmes} Journées Internationales d'Avignon sur les Systèmes Experts et leurs Applications.
 Avignon, Juin 1988.
- [HAY 77] Frederick Hay-Roth, V.R. Lesser
"Focus of Attention in the Hearsay-II Speech Understanding System."
 Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence.
 (Ijcai 77) Cambridge, Massachusetts, 1977.

- [HAY 79] B. Hay-Roth, F. Hay-Roth, S. Rosenschein,
S. Cammarata.
*"Modeling planing as an incremental ,
opportunistic process."*
Proceedings of the Sixth International Joint
Conference on Artificial Intelligence.
(Ijcai 79) Tokyo, Japan, 1979.
- [HAY 85] B. Hay-Roth
"A Blackboard Architecture for Control."
AI Magazine 26
- [HAY 86] B. Hay-Roth, A. Garvey, M.V. Johnson, M. Hewett.
"BB: a layered environnement for reasoning
about action."*
Technical Report N*KSL 86-38
Knowledge Systems Laboratory,
Stanford University, 1986.
- [HAY 88] B. Hay-Roth, M. Hewett
*"BB1: An implementation of the blackboard
control architecture."
in "Blackboard Systems."
Eds Addison-wesley 1988.*
- [HEW 87] M. Hewett, B. Hay-Roth.
"The BB1 architecture: a software engeenering view."
Proceeding of the AAAI-87 workshop on Blackboard
systems.
Seattle, Washington, 1987.
- [HEW 77] C. Hewitt
*"Viewing control structures as patterns of
passing messages."*
Artificial Intelligence Magazine 8 1977.

- [HUH 87] **M.N. Huhns**
"Distributed artificial intelligence."
Pitman, London
Morgan Kaufmann Publisher, Inc., Los Altos, California
1987.
- [HUR 73] **E.Huret**
"Structures des bilans et types de croissance des entreprises"
Revue Economie et Statistiques (50)
Novembre 1973
- [JAG 87] **V. Jagannathan, L. Baum, R. Dodhiawala**
"ERASMUS: reconfigurable object-oriented blackboard system."
Proceedings of the Second International
Symposium on Methodologies for Intelligent
Systems. Charlotte, NC.
- [KAS 87] **G. KASSEL**
"Expliquer, c'est raisonner sur le raisonnement."
Journées internationales d'Avignon
Avignon, 1987.
- [KAS 88] **G. KASSEL**
"Deux directions de recherche pour l'explication du raisonnement."
Journées internationales d'Avignon.
Avignon, 1988.
- [KEE 78] **P.G.W. Keen, M.S. Scott Morton**
"Decision support systems"
Addison Wesley, Reading. 1978.
- [KER 88] **Kerschberg L., Dickinson J.**
"FINEX - An expert system for financial analysis."
Journées Internationales d'Avignon. Avignon, mai 1985

- [KEY 82] **D. Kayser**
"Examen de diverses méthodes utilisées en représentation des connaissances."
1982 (?)
- [KLE 87] **Klein M.**
"FINSIM EXPERT: Un SIAD pour l'analyse et la planification financières."
Systèmes experts & Gestion d'entreprises.
Versailles, nov. 1987
- [KLE 88] **Klein M.**
"Aide à la décision et systèmes experts en finance."
In [ERN 88]
- [KOR 81] **W.A. Kornfeld, C.E. Hewitt**
"The scientific community metaphor."
I.E.E.E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics.
SMC-11(1), January 1983.
- [LAA 89] **H. Lâasri, B. Maître.**
Coopération multi-agents à base de blackboard dans le système ATOME."
Rapport Technique CRIN 89-R-046. Mars 1989.
- [LAT 73] **S. Latouche**
"Epistémologie et économie."
Editions sociales
1973
- [LAU 87] **J.L. Laurière**
"Intelligence artificielle. résolution de problèmes par l'homme et la machine."
Eyrolles, 1987.
- [LEG 88] **Le Gallo P., Pinet M.**
"L'analyse de bilans. Une utilisation du système CHARIS."
Systèmes experts et entreprises
Montpellier, Mars 1988

- [LEN 75] D.B. Lenat
"BEINGS: knowledge as interacting experts."
Proceedings of the 4th IJCAI Conference. p. 126-133.
1975.
- [LEN 83] D.B. Lenat, F. Hay-roth, D.A. Waterman
"Building expert systems."
Addison-Wesley, 1983.
- [LES 77] V.R. Lesser, L.D. Erman
*"A retrospective view of the Hearsay-II
architecture."*
Proceedings of the Fifth International Joint
Conference on Artificial Intelligence.
(Ijcai 77) Cambridge, Massachusetts, 1977.
- [LES 81] V.R. Lesser, D.D. Corkill
*"Functionally accurate, cooperative distributed
systems."*
IEEE Transactions on Systems,
Man and Cybernetics
Vol. SMC-11, N°1, January 1981.
- [LES 83] V.R. Lesser, D.D. Corkill
*"The distributed vehicle monitoring tested:
a tool for investigating distributed problem
solving networks."*
Artificial Intelligence Magazine 4(3), 1983.
- [LEV 89] P. Lévine, J.C. Pomerol
*"Systèmes interactifs d'aide à la décision
et systèmes experts."*
Hermès, Paris, 1989.
- [LIE 81a] H. Lieberman
*"Thinking about lots of things at once without
getting confused."*
MIT AI Memo N°626 May 1981.

- [LIE 81b] H. Lieberman
"A preview of ACT1."
 MIT AI Memo N°625 June 1981.
- [LIE 86] H. Lieberman
"Delegation and inheritance: two mechanisms for sharing knowledges in object orientd systems."
 BIGRE N°48. Janvier 1986.
- [LIE 87] H. Lieberman
"Concurrent Object-Orientd Programming in Act1."
 in A.Yonezawa, M. Tokoro
"Object Oriented Programming."
 MIT Press 1987.
- [LOI 81] B. Loiseau, C. Dupont
"Facteurs de succès et d'échecs dans les PME."
 Revue Française de Gestion.
 Septembre-octobre 1981.
- [MAL 81] J.F. Malecot
"Les défaillances: un essai d'explication."
 Revue Française de Gestion.
 Septembre-octobre 1981.
- [MAL 87] T.W. Malone
"Modeling coordination in organisations and markets."
 Management Science, 33(10): 1317-1332
 aussi dans [Gas 88] pp 151-158.
- [NEW 72] A. Newell, H. Simon
"Human problem solving."
 Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1972.
- [NII 82] H.P. Nii, E.A. Feigenbaum, J.J. Anton,
 A.J. Rockmore
"Signal-to-symbol transformation: HAsp/Siap case study."
 AI Magazine 3 1982.

- [NII 86] H.P. Nii
"Blackboard Systems: The Blackboard Model of Problem Solving and the Evolution of Blackboard Architectures."
AI Magazine 7.
- [PAR 84] G. Parnet
"Un système d'aide à la décision pour l'analyse du risque dans un service crédit clients."
Colloque ADI sur les SIAD
Deauville, Mars 1984.
- [PAR 87] H.V.D. Parunak
"Manufacturing experience with the contract net."
In M.N. Huhns
"Distributed artificial intelligence."
Chap 10. pp 285-310.
- [PFE 86] R. Pfeifer
"On the use of experience in expert systems."
6^{èmes} journées internationales
Les systèmes experts et leurs application.
Avignon, 1986.
- [PIN 88] Pinson S.
"Système multi-expert et processus d'évaluation du risque entreprise."
Journées Internationales d'Avignon. Avignon, 1988
- [QUA 86] Quairrel-Lanoizelee, Schlienger D.
"Systèmes experts et gestion: réflexions à propos de la réalisation d'un système expert financier."
Paris, 1986
- [QUE 84] P. Quême
"Dépister les difficultés des entreprises: le diagnostic préventif."
Revue Banque, N°437, Mars 1984

- [RAM 79] Raman J.P.
"Coût et structure des ressources et comportement financier des PME."
Thèse Lille, 1979.
- [REC 87] Rechenman F., Doize M.S.
"Safir-Shirka: un système à base de connaissances centrée-objet pour l'analyse financière."
Journées Internationales d'Avignon. Avignon, 1987
- [RIC 83] Rich E.
"Artificial intelligence."
Mc Graw-Hill 1983
- [ROB 47] L. Robbins
"Essai sur la nature et la signification de la science économique."
Librairie Médicis, 1947
- [ROZ 88] Rozenhoc M.
"Un système expert de crédit aux PME/PMI."
in Ernst et al. "Les systèmes experts de gestion."
Eyrolles 1988
- [SAM 69] P.A. Samuelson
"L'économique."
Ed. A. Colin Collect. U., 1969.
- [SCH 87] Schaefer V.
"Finexpro: Système expert d'analyse et diagnostic financiers."
Versailles, Novembre 1987
- [SCH 88] Schaefer V.
"L'analyse financière. Une utilisation du système expert Finexpro."
Systèmes experts et entreprises Montpellier, Mars 1988

- [SEN 88] Senicourt P.
"Preface-expert: le système expert pour lancer et piloter l'entreprise."
Colloque Systèmes experts & Gestion d'entreprises.
Versailles, septembre 1988
- [SHA 77] R. Shank
"Panel on natural language processing."
IJCAI 77 Proceedings.
- [SIM 77] H. Simon
"The new science of management decision."
Prentice-Hall.
- [SIM 83] H. Simon
"Reason in Human Affairs"
Basil Blackwell Publisher, Oxford, 1983.
- [SIM 86] H. Simon
"Les modèles individuels de comportement: de l'économie à l'intelligence artificielle."
L'Economique et l'Intelligence Artificielle.
Aix-en-Provence, Septembre 1986.
- [SMI 80] R.G. Smith
"The contract Net Protocol: Hight-level communication and control in a distributed problem solver."
IEEE Transaction on Computer C-29(12):1104-1113.
1980.
- [STE 81] R. Steeb, S. Cammarata, F.A. Hay-Roth, P.W. Thorndyke,
R.B. Wesson
"Architectures for distributed intelligence for air fleet control."
Technical Report R-2728-ARPA, Rand Corporation
Santa Monica, CA, 1984.

- [TER 83] **A. Terry**
 "The CRYBALIS project: hierarchical control of production systems."
 Technical Report Hpp-83-19,
 Stanford University, 1983
- [TER 88] **A. Terry**
 "Using explicit strategic knowledge to control expert systems."
 In: Blackboard Systems
 Engelmore & Morgan Addison-Wesley 1988.
- [VEN 87] **Venturi G.**
 "Credit-manager, un système expert pour l'évaluation du risque client."
 Colloque Les Hommes de la Finance
 et les Systèmes Experts. 1987
- [WAL 74] **L. Walras**
 "Eléments d'économie politique pure."
 1^{ère} édition Paris 1874
 Edition. L.G.D.J. Paris, 1976.
- [WAT 86] **D.A. Waterman**
 "Expert systems."
 Addison-Wesley, 1986.
- [WES 81] **R.B. Wesson, F. Hay-Roth, J.W. Burge, C. Stasz,
 C.A. Sunshine.**
 "Network structures for distributed situation assessment."
 IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics
 SMC-11(1), January 1981.
- [WIL 81] **O.E. Williamson**
 "The economics of organisation: the transaction cost approach."
 American Journal of Sociology, 87(81), pp 548-575.

[WIN 86] T. Winograd, F. Flores
"L'intelligence artificielle en question."
Presses universitaires de France, 1989.

[WIN 84] P.H. Winston
"Artificial intelligence."
Addison-Wesley
1984



TITRE: Spécification d'une architecture multi-experts pour la simulation financière et le diagnostic d'entreprise.

RESUME: Cette thèse présente l'analyse ayant conduit à la conception d'une architecture logicielle dédiée en vue de la réalisation du prototype SIMFIDE, système expert destiné à la SIMulation FINAncière et au Diagnostic d'Entreprise. Le travail est présenté en trois parties:

1) Après une analyse critique des actuels S.E. financiers, marqués à l'empreinte du besoin spécifique des banques (qui s'intéressent à la santé de leurs clients au travers de celle de leurs créances), sont présentés les principes d'une analyse financière en rupture avec l'approche bancaire orientée sanction du passé propre aux actuels S.E. financiers et mieux à même de répondre aux besoins de la prise de décision en PME qui appellent une approche en termes de simulation du futur. L'analyse de la connaissance liée à cette expertise en révèle plusieurs caractéristiques (logique de situation, points de vue multiples, inclusion de l'utilisateur dans l'espace de recherche) qui amènent à rejeter une architecture de S.E. classique au profit d'une représentation distribuée en termes de système multi-agents.

2) L'analyse des modèles de contrôle en univers multi-agents (contrôle distribué et réseau de contrats, contrôle centralisé ou hiérarchique et tableau noir) en vue d'étudier leur adaptabilité aux caractéristiques de la connaissance à représenter (le contrôle des agents comme support de représentation d'une connaissance stratégique) amène à opter pour une architecture de type tableau noir à contrôle hiérarchique dans laquelle est introduit le principe d'une communication directe entre agents de niveaux contigus.

3) La troisième partie est consacrée à la présentation du prototype SIMFIDE et à l'exposé des principes adoptés en vue d'obtenir un système ayant des qualités de comportement conformes aux caractéristiques de l'expertise telles qu'initialement analysées.

MOTS-CLES: système expert, analyse financière, tableau noir, réseau de contrats, intelligence artificielle distribuée.

