

Emergence de Diagnostic par Formation de Coalitions - Application au diagnostic des conceptions d'un apprenant

Carine Webber, Sylvie Pesty

▶ **To cite this version:**

Carine Webber, Sylvie Pesty. Emergence de Diagnostic par Formation de Coalitions - Application au diagnostic des conceptions d'un apprenant. JOURNÉES FRANCOPHONES POUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DISTRIBUÉE ET LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS (JFIADSMA'2002), 2002, pp.45-57. hal-00003045

HAL Id: hal-00003045
https://telearn.hal.science/hal-00003045

Submitted on 8 Oct 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Emergence de Diagnostic par Formation de Coalitions

Application au diagnostic des conceptions d'un apprenant

Carine Webber* **et Sylvie Pesty**

Laboratoire Leibniz – IMAG
46 avenue Félix Viallet, 38031 Grenoble Cedex
{ Carine.Webber, Sylvie.Pesty }@imag.fr

RÉSUMÉ. *Cet article présente une approche d'une tâche de diagnostic basée sur la formation de coalitions. Nous considérons le diagnostic comme étant le résultat émergent de l'activité interactive d'agents d'un niveau micro, résultat qui est interprété par des agents spécialisés d'un niveau supérieur (niveau macro). Au niveau micro, les agents interagissent et, suite à un processus de vote, forment des coalitions; au niveau macro, les agents spécialisés sont capables d'interpréter les coalitions formées en terme de diagnostic. Le domaine d'application de notre approche est la modélisation d'un apprenant dans le cadre d'un environnement informatique d'apprentissage à distance de la démonstration en géométrie. Le diagnostic réalisé par le système permet d'attribuer à l'apprenant un ensemble de "conceptions" à partir de l'observation de l'activité de l'élève à l'interface du système.*

ABSTRACT. This paper presents an approach to conceive a diagnosis task based on coalition formation. We consider the diagnosis as being the emergent result of the activity of interacting agents at a microscopic level, result which is interpreted by specialized agents from a higher level. At the micro-level, agents interact, vote and form coalitions. At the macro-level, specialized agents are able to interpret coalition formation in terms of diagnosis. Our domain of application is student modelling in the context of a distance learning environment for teaching geometry proof. The diagnosis carried out by the system allows ascribing to the student a set of "conceptions" from the observation of his/her activity on user's interface.

MOTS-CLÉS : *formation de coalitions, modèle spatial de vote, émergence, diagnostic, modèle de l'apprenant.*

KEYWORDS : *coalition formation, spatial voting theory, emergence, diagnosis, student modelling.*

* Boursière Capes/Cofecub, Brésil.

1. Introduction

Classiquement, une tâche de diagnostic consiste à observer un processus (processus industriel, sociologique, biologique…), à caractériser l'état de ce processus à partir de variables observées, et enfin à attribuer une signification à cet état (état normal de fonctionnement, état de panne par exemple). La tâche de diagnostic est la tâche préliminaire à celle d'analyse qui va consister à prendre une décision pour permettre au processus par exemple d'être adapté aux nouvelles contraintes de l'environnement ou encore pour faire revenir le processus à son état normal de fonctionnement. Un système de surveillance d'un processus est bâti autour de ces deux grandes étapes: diagnostic et analyse.

Selon Maxion (1990) une tâche de diagnostic est plutôt vue comme étant une reconnaissance "de haut niveau" de symptômes ou de symboles qui sont les variables observables, caractéristiques du fonctionnement du processus à surveiller. Ces variables appartiennent à un niveau micro et peuvent alors être reconnues par des entités placées à un niveau macro. Selon cette approche, le diagnostic (ici, *diagnostic* au sens du résultat de la tâche de diagnostic) serait alors une propriété émergente. Nous reprenons cette idée de "diagnostic émergent" et présentons dans cet article une modélisation d'un système de surveillance et en particulier de la tâche de diagnostic selon une approche multi-agent "bottom-up" à fonctionnalité émergente. Pour cela, nous considérons le diagnostic comme étant le résultat émergent de l'activité interactive d'agents d'un niveau micro, résultat qui est interprété par des agents spécialisés, d'un niveau supérieur (niveau macro). Nous employons le terme "émergence" dans un sens comparable à celui donné par plusieurs auteurs (Odell, 2000 ; Holland, 1998 ; Drogoul, 1995 ; Forrest, 1990 ; MRJean, 1997 ; Bonabeau *et al*., 1995) et selon lequel un système constitué par plusieurs agents aux comportements élémentaires peut engendrer un résultat global (des propriétés, un comportement,…), dit *émergent*, ayant des propriétés remarquables interprétables par un observateur extérieur. Dans notre cas, l'observateur extérieur n'est pas l'utilisateur ou le concepteur du système, mais des agents spécialisés qui utilisent le résultat émergent, selon leur propre théorie, pour prendre une décision, en fonction de leur propre rôle. Il est bien entendu qu'il s'agit ici d'une "émergence artificielle" et assez réduite par rapport à la notion philosophique du terme. D'autres travaux, en particulier (Gleizes, 1999 ; Carre, 1999), s'intéressent quant à eux à la formalisation d'une théorie de l'émergence pour une nouvelle approche de la conception de systèmes informatiques ; ces travaux ont, à cet égard, une toute autre ambition.

Outre les aspects concernant la problématique générale de l'émergence, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux études faites dans le domaine de la théorie du vote qui ont montré comment les parties politiques peuvent *émerger* à partir des choix des électeurs (Schreiber, 2000 ; Stadler, 1999). Dans un autre domaine, celui des sciences économiques, des travaux ont étudié l'émergence des marchés basés sur le comportement d'agents modélisant des comportements de

vendeurs et d'acheteurs (Vriend, 1995 ; Breban *et al*., 2001), aussi bien que l'apparition de classes sociales et de normes sociales (Axtell *et al*., 2000). Ces deux domaines appliquent de façon proche les mécanismes de formation de coalition afin d'étudier et de simuler des comportements sociaux. Mais au-delà des buts propres à la simulation de tels comportements, le principe de formation de coalitions a été appliqué à la résolution de problèmes, en particulier dans les travaux de S.Pinson et S.Aknine (Aknine, 2000), ainsi que pour l'allocation de tâches pour la résolution coopérative de problèmes (Shehory *et al*., 1995 ;Sichman, 1995). Plus récemment, les applications dans le domaine du commerce électronique ont constitué un excellent banc d'essais pour l'utilisation des mécanismes de formation de coalitions (Breban *et al*., 2001).

Il est indéniable que le mécanisme de formation de coalitions présente des propriétés intéressantes dans de nombreux cas de résolution de problèmes et nous présentons dans cet article son utilisation à un nouveau domaine, celui de la résolution d'une tâche de diagnostic. Ainsi, au niveau micro, des agents, dont le rôle est la détection des "symptômes", interagissent, et suite à un processus de vote forment des coalitions. Au niveau macro, des agents spécialisés sont capables d'interpréter les coalitions formées en terme de diagnostic et de les utiliser dans leur tâche d'analyse. Le domaine d'application de notre approche est la modélisation d'un apprenant dans le cadre d'un environnement informatique d'apprentissage à distance de la démonstration en géométrie (Webber *et al*., 2002). Le diagnostic réalisé par le système permet d'attribuer à l'apprenant un ensemble de "conceptions" à partir de l'observation de l'activité de l'élève à l'interface du système. Les conceptions diagnostiquées servent ensuite aux "agents pédagogiques" du niveau supérieur dans leur prise de décision (choix d'un nouveau problème, interruption momentanée du travail, intervention d'un enseignant, conseils, etc.). L'environnement d'apprentissage à distance dans lequel prend place ce système de diagnostic est présenté dans (Webber *et al*., 2001 ; Webber *et al*., 2002). D'autre part, nous nous appuyons pour la modélisation de l'apprenant sur le "modèle des conceptions" décrit et formalisé par des didacticiens (Balacheff *et al*., 2002) et développé dans le domaine de la didactique des mathématiques.

Cet article est organisé de la façon suivante : la section suivante décrit brièvement le cadre théorique de notre approche. La troisième section présente le système multi-agents qui réalise le diagnostic des conceptions. La quatrième section décrit les agents composant le système ainsi que le mécanisme de formation de coalitions. En conclusion, les premiers résultats sont présentés.

2. Cadre théorique

2.1. Les conceptions

Le modèle de conceptions sur lequel nous nous appuyons a été développé dans le domaine de la didactique des mathématiques (Balacheff *et al*., 2002). De façon

simplifiée, disons qu'un ensemble de conceptions représente la connaissance d'un sujet dans un domaine spécifique et par rapport à un savoir donné.

Formellement, une conception est décrite par un quadruplet C (P, R, L, Σ) où :
- P représente un ensemble de problèmes qui définit le domaine de validité de C ;
- R représente un ensemble d'opérateurs qui résolvent les problèmes de P;
- L est un système de représentation permettant la représentation de P et R ;
- Σ est un ensemble de contrôles. Σ assure la non contradiction de C.

Notons, que tout élément du quadruplet, que ce soit un élément de type P, R, L ou Σ, peut contribuer à la caractérisation de plusieurs conceptions; par exemple deux conceptions peuvent partager des problèmes dans leur domaine de validité ou peuvent avoir des opérateurs communs ou encore des contrôles, ou même peuvent encore utiliser le même système de représentation. Ainsi, dans le modèle théorique, des relations entre conceptions ont été définies comme des relations de généralité ou d'équivalence par exemple (Balacheff et al., 2002).

La modélisation de l'apprenant à partir du modèle de conceptions ne peut être détaillé dans cet article. Cependant, afin d'illustrer ce qu'est une conception, quelques exemples sont présentés figures 1 et 2 dans le domaine de la symétrie orthogonale. La figure 1 présente une construction faite par un apprenant qui mobilise la conception nommée "parallélisme" où l'apprenant "pense" que si deux segments sont symétriques alors ils sont aussi parallèles. La figure 2 a été construite par un apprenant qui a mobilisé la conception "correcte" sur la symétrie orthogonale.

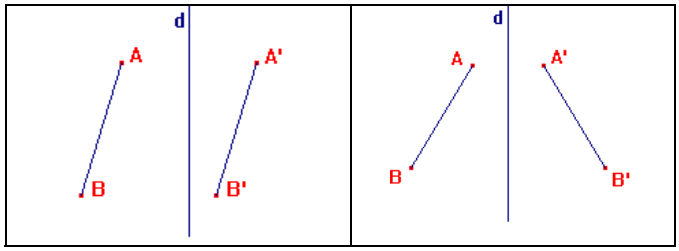


Figure 1. Conception "parallélisme" **Figure 2.** Conception "correcte"

Pour illustrer comment la tâche de diagnostic est réalisée, considérons le problème décrit figure 3.

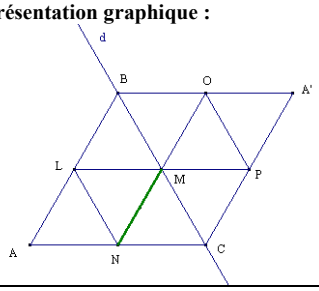
Enoncé du problème :	**Représentation graphique :**
Soit ABC un triangle équilatéral. A' est symétrique de A par rapport à la droite d. L est le milieu de [AB], M est le milieu de [BC], et N est le milieu de [AC]. P est le point d'intersection entre (LM) et (CA'). O est le point d'intersection entre (NM) et (BA'). Quel est le symétrique du segment [NM] par rapport à la droite d ? Démontrez-le.	

Figure 3. Un problème dans le domaine de la symétrie orthogonale.

Dans ce problème, les élèves doivent démontrer, en utilisant les propriétés géométriques de la symétrie orthogonale, que le segment [NM] a un objet symétrique par rapport à l'axe d.

Le tableau 1 présente trois solutions proposées par des élèves. Les étapes de 1 à 5 sont identiques pour les trois élèves; seules diffèrent l'étape 6. Dans le cas de l'étape 6, nous considérons donc trois solutions possibles (6.a, 6.b et 6.c) afin de montrer comment les élèves mobilisant différentes conceptions peuvent s'exprimer. Dans le cas de la démonstration composée par les étapes 1-2-3-4-5-6.a, l'élève a montré que le segment [OM] est le symétrique de [NM]. Cette solution, selon les opérateurs utilisés pour la construire (en particulier les opérateurs 6.a1 et 6.a7), caractérise la conception erronée nommée "symétrie centrale".

Tableau 1. Trois solutions proposées par des élèves.

1		A'BC est un triangle équilatéral
2		ABA'C est un losange ([AB]//[CA'] et [BA']//[AC])
3		[AB]//[CA']; [AB]//[NO]; [NO]//[CA']
4		O est le milieu du segment [A'B]
5		P est le milieu du segment [A'C]
6.a	1	M est le symétrique de M par rapport à d
	2	Puisque [AC]//[BA'] et
	3	N est le milieu du segment [AC] et
	4	O est le milieu du segment [A'B] et
	5	Les segments [NM] et [OM] ont la même longueur
	6	O est le symétrique de N
	7	So, [OM] est le symétrique de of [NM] par rapport au point M
6.b	1	M est le symétrique de M par rapport à d
	2	Les segments [NM] et [PM] ont la même longueur
	3	[NP] est orthogonal à l'axe d
	4	P est le symétrique de N
	5	Alors, [PM] est le symétrique de [NM] par rapport à d
6.c	1	Comme [NO] // [CA'] et [NM]//[PA']
	2	Et comme [NM] et [PA'] sont parallèles et de même longueur, ils sont symétriques
	3	P est le symétrique de N
	4	A' est le symétrique de M
	5	Alors, [PA'] est le symétrique de [NM] par rapport à d

La deuxième solution (1-2-3-4-5-6.b) donne une bonne réponse au problème ([PM] est effectivement le segment symétrique de [NM]) et on attribue la conception "correcte" à l'élève. La troisième (1-2-3-4-5-6.c) solution est représentative de la conception "parallélisme". En effet, dans ce cas, les élèves démontrent que deux segments sont symétriques s'ils sont parallèles et de même longueur.

Il est important de noter qu'un diagnostic est basé non pas sur un seul problème mais sur une séquence de quelques problèmes résolus par l'élève. Les différents problèmes dans une séquence pédagogiquement organisée permettent la construction d'un modèle de l'apprenant à partir de suffisamment d'informations pour pouvoir caractériser les conceptions de l'élève dans un domaine spécifique de la connaissance (Webber *et al*., 2002).

2.2. La théorie du vote et la formation de coalitions

Les modèles de votes sont largement employés en sciences sociales et ont leurs racines dans la Théorie des Jeux. Les recherches dans ce domaine s'intéressent tout particulièrement aux stratégies de vote, aux comportements des électeurs et aux influences de leurs choix sur la configuration finale du résultat. Les études basées sur la simulation d'élections (Schreiber, 2000 ; Stadler, 1999) ont conduit à des modèles fournissant des explications sur le comportement des électeurs, les prises de décisions en groupe et la formation de coalitions.

Dans le domaine des systèmes multi-agents, la théorie du vote a été utilisée comme technique pour atteindre un consensus dans un processus de négociation et de prise de décision de groupe (Ephrati *et al*., 1993 ; Sandholm, 1999). Dans la simulation de la formation de coalitions, l'approche multi-agents a été également employée pour démontrer comment les coalitions se forment à partir des différentes préférences des électeurs (Schreiber, 2000). En outre, plusieurs travaux ont montré que les structures émergentes peuvent être engendrées par un processus de vote. Par exemple, Schreiber (2000) a démontré par des simulations multi-agents que les partis politiques émergent à partir du comportement de vote et des préférences des électeurs.

Notre intérêt pour la théorie du vote est essentiellement motivé par la possibilité de "capturer" une décision de groupe et par la possibilité de modéliser les mécanismes d'influence qu'exerce un agent sur les préférences d'autres agents. Plus précisément, nous nous basons sur un modèle spatial de la simulation du comportement de vote (Stadler, 1999). Ce modèle, employé en sciences politiques, suppose que les questions politiques (comme par exemple investir dans la construction d'un hôpital ou plutôt d'une école) peuvent être quantifiées et que les électeurs peuvent être représentés par des points dans un "espace des questions" (*issue space*). De même, chaque candidat à l'élection est également représenté par une position par rapport aux questions dans l'espace. En règle générale, cet espace est un espace euclidien $\mathbb{R}^n$ à n dimensions. Chaque électeur ou chaque candidat est donc représenté par un vecteur dans l'espace, point idéal qui représente son avis sur chaque question. Dans ces modèles, les électeurs forment des coalitions avec d'autres électeurs près d'eux dans l'espace des questions. Les coalitions commencent par un nombre restreint d'électeurs et forment éventuellement des coalitions avec d'autres coalitions. Une hiérarchie des coalitions est établie jusqu'à ce qu'une coalition soit créée avec la majorité d'électeurs. La coalition qui contient la majorité des électeurs est dite "gagnante" et les coalitions concurrentes cherchent à s'adapter (adapter ses positions dans l'espace) pour attirer les électeurs.

Le modèle spatial de vote à été récemment simulé selon des approches multi-agents (Schreiber, 2000).

3. Le système multi-agents de diagnostic des conceptions

A la définition de l'émergence est toujours associée la notion de niveaux : un niveau micro composé d'entités en interaction dont l'expression des états et de la dynamique se fait dans une théorie D, et un niveau macro pour l'inscription et l'interprétation du phénomène émergent dans les termes d'une nouvelle théorie D' (MRJean, 1997 ; Bonabeau *et al*., 1995).

Si l'on reprend l'idée de Maxion (1990) dont nous avons parlé précédemment, un problème de diagnostic peut être modélisé par un système multi-agents à fonctionnalité émergente dans lequel on différencie les deux niveaux suivants: celui des agents en charge d'observer le processus à surveiller, et dont les interactions vont chercher à caractériser au mieux l'état du processus; des agents placés à un niveau supérieur interprète le résultat de l'activité interactive des agents du niveau inférieur en termes d'un diagnostic.

La figure 4 schématise les deux niveaux dans le cas du diagnostic des conceptions des apprenants. Au niveau micro des agents observent l'activité de l'élève (la solution qu'il produit pour un exercice donné) et forment des coalitions pour donner une "image" du processus observé (l'élève en train de résoudre un problème). Les coalitions sont interprétées par les agents du niveau macro, en terme de conceptions.

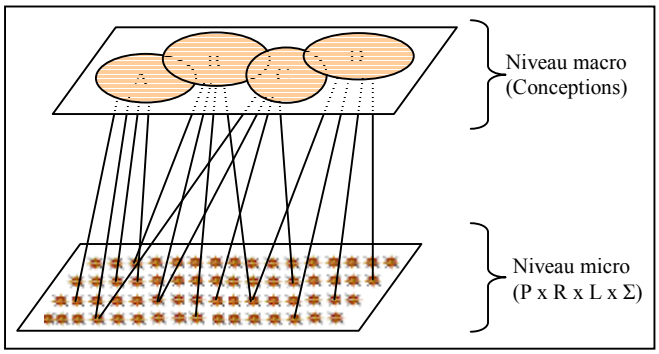


Figure 4. Une approche émergente pour le diagnostic de conceptions.

Plus précisément et étant donné également qu'une conception en tant que telle n'est pas un élément observable, les éléments observables et observés par les agents du niveau micro sont les éléments du quadruplet qui définissent une conception, à savoir, les opérateurs employés par l'élève, le type de problème résolu, le langage employé pour exprimer sa solution, et les contrôles utilisés. On construit donc un agent autour de chaque élément observable; au niveau macro, le résultat qu'il s'agira d'interpréter en termes de conceptions sont les coalitions d'agents.

3.1. *Les agents du niveau micro*

Un agent dans un intervalle de temps donné peut être actif ou inactif. Cet état peut changer selon des changements qu'il perçoit dans son environnement.

La première action d'un agent consiste à vérifier si l'élément qu'il représente est présent ou non dans l'environnement (constitué en partie de la solution de l'élève et de l'énoncé de l'exercice). En présence de l'élément, l'agent devient satisfait. Une fois satisfait, l'agent est placé dans l'espace des questions (le troisième constituant de l'environnement) et il participera au vote et proposera des coalitions (cf. paragraphe suivant). Lorsque l'élément que l'agent représente n'est pas présent dans l'environnement, ce dernier reste inactif et n'a pas le droit au vote. Il est important de noter que chaque agent a une connaissance *a priori* de l'élément qu'il représente et à quelles conceptions il est susceptible d'appartenir.

Quatre catégories d'agents composent le niveau micro:

Agents de type problème : Un "agent problème" devient satisfait lorsque la catégorie de problèmes qu'il représente est présente dans l'environnement. Dans le domaine de la symétrie orthogonale, une catégorie des problèmes est décrite par quatre variables didactiques : l'orientation de l'axe de symétrie, l'orientation du segment objet, l'angle formé entre l'axe de symétrie et le segment objet et enfin le type d'intersection entre l'axe et le segment. La combinaison de différentes valeurs que peuvent prendre ces variables didactiques détermine des problèmes de complexité variée et amène les élèves à mobiliser différentes conceptions.

Agents de type opérateur : Un "agent opérateur" devient satisfait lorsque l'élément r de l'ensemble R qu'il représente est présent dans la solution construite par l'élève. Les opérateurs sont utilisés par les élèves pour construire leur démonstration. Un exemple d'opérateur dans le domaine de la symétrie orthogonale est le suivant : "si la droite d coupe le segment [AB] en son milieu, alors d est l'axe de symétrie de [AB]".

Agents de type langage : Un "agent langage" devient satisfait lorsque l'élément du langage qu'il représente est présent dans la solution construite par l'élève. Ce peut être une grammaire, une représentation graphique ou une forme alternative d'expression permettant la description du problème et de la solution. Dans la version courante de l'environnement d'apprentissage utilisé, l'élève ne dispose que d'un seul moyen d'expression de sa solution (langage pseudo-naturel), pour cela ces agents n'ont pas été implémentés dans le système.

Agents de type contrôle : Un "agent contrôle" devient satisfait lorsque l'élément σ de Σ qu'il représente est présent dans la solution construite par l'élève. Lors de la résolution de problèmes, les élèves choisissent des opérateurs, valident des actions et valident le résultat final. Chacune de ces trois décisions est guidée par des contrôles. Les contrôles sont dits perceptifs lorsque l'élève fait des affirmations basées sur quelque chose "vue" sur la figure et qu'il emploie cette information pour prendre et valider ses décisions. La symétrie orthogonale implique souvent l'emploi de

contrôles perceptifs; par exemple, un élève qui mobilise la conception "parallélisme" peut reconnaître qu'un problème est correctement résolu lorsqu'il perçoit que le segment image "semble" être parallèle et de la même longueur que celle du segment objet. D'autres contrôles sont dits théoriques quand un élève prend ses décisions et ses validations en se basant sur des connaissances précédemment validées lors d'autres exercices. Dans le cas de notre application, seuls les contrôles théoriques sont observables.

3.2. *L'environnement*

L'environnement représente le monde extérieur des agents et il se transforme en fonction des actions des agents. L'environnement est constitué d'une représentation du problème à résoudre, de la preuve correspondant à la solution donnée par l'élève et de l'espace des questions qui est le lieu de la formation des coalitions comme nous le verrons plus loin.

3.3. *Les interactions*

Les agents interagissent via l'environnement c'est-à-dire qu'ils perçoivent et agissent dans l'environnement. Seule une partie de l'environnement (l'espace des questions) est modifiée par les actions des agents. En retour, les modifications de l'environnement produisent des changements de comportements des agents. Le cycle de "perception-action dans l'environnement" des agents s'interrompe lorsque aucune nouvelle coalition ne peut être formée ou lorsque aucunes coalitions ne peuvent être fusionnées.

Le paragraphe suivant précise la dynamique du système et donne une formalisation des principaux composants du système multi-agents.

4. Description formelle

4.1. *Le problème de diagnostic*

Etant donnés un ensemble de conceptions $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_n\}$, un ensemble d'agents $A = \{a_1, \ldots, a_n\}$ et un ensemble représentant l'état de l'environnement $Env = \{PR, SP, IS\}$, où PR est une description du problème résolu par l'élève, SP est la preuve construite par l'élève comme solution au problème PR et IS est l'espace des questions. L'espace des questions $\mathbb{R}^n$ est un espace euclidien à n dimensions. Le nombre de conceptions détermine la dimension de l'espace. Chaque électeur est représenté par une position dans l'espace correspondant à son vote au sujet des conceptions candidates. Une position est représentée par un vecteur $v \in \mathbb{R}^n$.

Le problème à résoudre consiste à identifier un ou plusieurs groupes G d'agents ($G \subset A$) représentatif de la ou des conceptions de l'élève. Le problème est considéré résolu quand une ou plusieurs coalitions sont formées.

4.2. *L'agent*

Une conception c_i de C est définie par un quadruplet (P_i,R_i,L_i,Σ_i) où :

- P_i est un ensemble de problèmes $\{p_1, p_2,\ldots,p_n\}$ de c_i ;
- R_i est un ensemble d'opérateurs $\{r_1,r_2,\ldots,r_n\}$ de c_i ;
- L_i est une grammaire qui permet l'expression de P_i et R_i de c_i ;
- Σ_i est un ensemble de contrôles $\{\sigma_1, \sigma_2,\ldots, \sigma_n\}$ de c_i.

On note E l'ensemble de tous les éléments $\{e_1,\ldots,e_n\}$ constitutifs des conceptions avec $e_i \in P_i \mid e_i \in R_i \mid e_i \in L_i \mid e_i \in \Sigma_i$. Tout agent a_i est construit autour d'un élément e_i.

Soit K_i un ensemble de conceptions candidates $\{k_{i1}, k_{i2},\ldots,k_{in}\}$ pour un agent a_i , $K_i \subset C$. Soit Q_i l'ensemble des accointances $\{q_{i1},\ldots,q_{in}\}$ d'un agent a_i (la définition des accointances est détaillée dans la section 4.2.2). Enfin, soit V_i l'ensemble des votes $\{v_{i1},\ldots,v_{in}\}$ données par l'agent a_i aux conceptions candidates K_i.

Un agent a_i est défini par : un identificateur N_i, un état interne $S_i \in$ {satisfait, insatisfait}, un ensemble d'accointances Q_i, un ensemble de conceptions candidates K_i, un élément e_i, une fonction de satisfaction f_i $(e_i, Env) = S_i$, et un vecteur V_i représentant sa position de départ dans l'espace euclidien $\mathbb{R}^n$ et un comportement que nous décrivons ci-après.

4.2.1. *Le comportement des agents*

La figure 5 est un diagramme d'états du comportement de l'agent. Initialement les agents sont créés dans un état insatisfait.

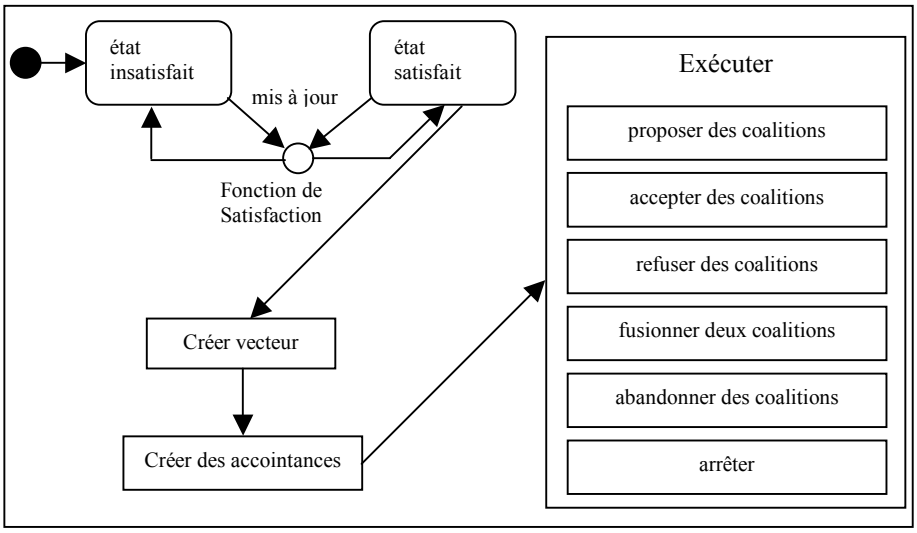


Figure 5. Diagramme d'états d'un agent.

Quand un agent devient satisfait (pour cela, il doit détecter dans l'environnement la présence de l'élément qu'il représente), il se positionne dans l'espace des questions selon ses préférences initiales. Puisqu'il est situé dans l'espace des questions, il détermine qui sont ses accointances et commence par proposer à chacune de ses accointances, de former des coalitions avec lui (cf. section suivante). Un agent peut appartenir à plusieurs coalitions à la fois. La proposition peut être acceptée ou refusée. En outre, un agent peut décider de fusionner les coalitions auxquelles il appartient ou encore il peut choisir de rentrer ou sortir des coalitions à tout moment. L'ensemble de ces choix est conditionné par des heuristiques propres à chaque agent comme par exemple des calculs de coût, d'utilité et de distance qui nous ne détaillons pas ici. Quand il n'est plus possible pour l'agent d'exécuter aucune de ces actions, l'agent arrête toute activité.

4.2.2. *Les accointances*

Le vecteur de vote d'un agent permet le placement de l'agent dans l'espace des questions par rapport à l'ensemble des conceptions connues et par rapport aux votes des autres agents. Un agent a pour accointances les agents qui se trouvent dans sa zone de voisinage dans l'espace des questions. Ainsi, soient a_α et a_β deux agents distincts et v_α et v_β les vecteurs représentant respectivement les positions a_α et a_β dans l'espace $\mathbb{R}^n$. Nous supposons que a_α et a_β sont des accointances l'un pour l'autre s'ils satisfont une condition de voisinage au sens d'une distance euclidienne entre leurs deux vecteurs respectifs v_α et v_β. Les deux agents satisfont la condition si la distance calculée est inférieure à un seuil spécifique. Si l'on note Q_α et Q_β, respectivement l'ensemble des accointances de a_α et a_β, alors $a_\beta \in Q_\alpha$ et $a_\alpha \in Q_\beta$.

4.3. *La formation de coalitions*

Une coalition Co est un sous-ensemble non vide de l'ensemble des agents A. Le nombre initial de coalitions est réduit puisque les coalitions initiales sont formées entre deux agents situés dans la même zone de voisinage dans l'espace des questions. Quand un agent forme une coalition, elle a un statut de coalition *proposée*. Lorsqu'elle est acceptée par tous ses membres elle devient une coalition *acceptée*.

Nous définissons également la notion "d'utilité d'une coalition" comme étant la somme des "utilités individuelles" des agents qui forment cette coalition, sachant que "l'utilité individuelle" d'un agent est une valeur inversement proportionnelle au nombre initial de conceptions candidates. Dans la version en cours nous ne calculons pas de coût de formation des coalitions. Nous considérons que s'il est possible de fusionner deux coalitions, alors la coalition résultante aura toujours une utilité plus importante. De plus, dans la version courante de notre système, les agents n'ont pas de mémoire, en ce sens qu'un agent ne conserve pas l'information sur les agents avec lesquels il a précédemment eu des échanges.

5. Considérations Finales

A titre d'illustration, nous présentons très succinctement un de nos résultat de diagnostic en utilisant la preuve présenté dans la section 2.2 (étapes 1-2-3-4-5-6c). Le système multi-agents développé est composé par 107 agents, soit 66 agents de type opérateur, 30 agents de type problème et 11 agents de type contrôle. Comme expliqué auparavant, les agents deviennent actifs si l'élément qu'ils représentent est retrouvé dans la preuve. Pour cette expérimentation, 13 agents (1 agent problème, 10 agents opérateur et 2 agents contrôle) sont devenus actifs. L'espace des questions a 4 dimensions, représentant les 4 conceptions prototypiques de la symétrie orthogonale (symétrie centrale, symétrie oblique, parallélisme et symétrie orthogonale). Les vecteurs de vote, de dimension 4, sont des vecteurs canoniques où chaque dimension de valeur 1 représente une conception candidate et 0 sinon. Le seuil utilisé pour identifier les accointances est égal à 1.

La dynamique du système a montré que le nombre de coalitions formées augmentait régulièrement pour obtenir une valeur plafond de 134 (au temps t=150), puis ce nombre a régressé pour se stabiliser à 2 (au temps t=460). Ainsi, deux coalitions ont émergé. La coalition ayant la plus grande utilité a été considérée comme "gagnante" et représente la conception "parallélisme"; la deuxième coalition représente la conception de symétrie orthogonale (la conception correcte). D'un point de vue didactique, le résultat est conforme et indique bien que l'élève semble mobiliser pour ce problème la conception "parallélisme". Nous interprétons le fait qu'une coalition faible (représentant la symétrie orthogonale) soit apparue en raison néanmoins d'un certain nombre d'opérateurs corrects et de propriétés correctes décelables dans la preuve de l'élève et qui ont eu leur influence dans le processus de diagnostic. Toutefois, les opérateurs incorrects ont eu plus de poids et ils ont conduit au diagnostic "gagnant" du parallélisme en formant la coalition la plus forte. En effet, parmi les 13 agents impliqués dans le processus de diagnostic, 10 ont participé à cette coalition.

Actuellement, nous continuons nos efforts pour mettre à l'épreuve tant notre approche que l'algorithme développé à partir d'une campagne d'exercices réalisée auprès d'élèves de classe de collège (4 exercices pour environ 100 élèves). En particulier nous travaillons pour améliorer les heuristiques des agents.

Parallèlement à cette expérimentation, nous débutons une comparaison de l'approche "diagnostic émergent par formation de coalitions" présentée dans cet article à d'autres approches informatiques en particulier les approches probabilistes de type réseaux bayésiens.

References

Aknine, S., Modèles et méthodes de coordination dans les systèmes multi-agents. Université Paris IX Dauphine : Thèse de Doctorat, 2000.

Axtell, R., Epstein, J., Young, H.P., The emergence of classes in a multi-agent bargaining model. Center on Social and Economics Dynamics, Working paper no.9, February 2000.

Balacheff N., Gaudin N., Modelling students conceptions - the case of functions. Mathematical Thinking and Learning – an International Journal, 2002. (to appear).

Bonabeau, E.; Dessalles, J.; Grumbach, A., Characterizing Emergent Phenomena (1): A critical review, in Revue Internationale de Systémique, vol.9, nº3, 1995, pp. 327-346.

Breban,S., Vassileva, J., Long-term Coalitions for the Electronic Marketplace, in Proceedings of the E-Commerce Applications Workshop, Canadian AI Conf., 2001.

Carre, J., Machonin, A., Glize, P., Un système multi-agent auto-organisateur pour l'apprentissage d'un profil utilisateur, in Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et des Systèmes Multi-Agents, Saint-Gilles La Réunion, France, 1999.

Drogoul, A., Corbara, B., Fresneau, D., MANTA: New experimental results on the emergence of (artificial) ant societies, in Artificial Societies: the computer simulation of social life, Nigel Gilbert & R. Conte (Eds), UCL Press, London, 1995.

Ephrati, E., Rosenschien, J., Multi-agent planning as a dynamic search for social consensus, in International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.423-429, 1993.

Forrest, S., Emergent Computation, Physica D 42, 1990, Elsevier Science Publishers, North-Holland.

Gleizes, M.P., Leger, A., Athanassiou, E., Glize, P., Abrose : Self-Organization and Learning in Multi-Agent Based Brokerage Services, in International Conference on Intelligence and Services in Networks, Spain, pp.41-54, Lecture Notes in Computer Science 1597, Springer 26-28, 1999.

Holland, J.H., Emergence from chaos to order, Oxford, Oxford University Press, 1998.

Maxion, R.A., Toward diagnosis as an emergent behavior in a network ecosystem, in Physica D 42, 1990, pp. 66-84, Elsevier Science Publishers, North-Holland.

M.R.Jean, Emergence et SMA, in: Joel Quinqueton, Marie-Claude Thomas et Brigitte Trousse (eds.) IA distribuée et systèmes multi-agents, JFIADSMA´97, pp.323-341. Paris: Hermes, 1997.

Odell, J., Agents (Part 2): Complex Systems, Executive Report, Volume 3, Number 6, Cutter Consortium, Arlington, MA, 2000. http://www.jamesodell.com/publications.html

Sandholm, T.W., Distributed Rational Decision Making, Multiagent Systems: A Modern Introduction to Distributed Artificial Intelligence, Weiβ, G., MIT Press, 1999.pp.201-258.

Schreiber, D., The emergence of parties: an agent-based simulation, in The Annual Meeting of the Midwestern Political Science Association, Chicago, Illinois, 2000.

Shehory, O.; Kraus, S., Task allocation via coalition formation among autonomous agents, in International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.655-661, 1995.

Sichman, J.S., Du Raisonnement Social chez les Agents – Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance. INP de Grenoble: Thèse de Doctorat, 1995.

Stadler, B.M.R., Adaptative Platform Dynamics in Multi-Party Spatial Voting, Adv.Complex Systems, vol.2, 101-116, 1999.

Vriend, N.J., Self-Organization of Markets: An Example of a Computational Approach, Computational Economics, 1995, Vol. 8, No. 3, pp. 205-231.

Webber, C., Pesty, S., Balacheff, N., A multi-agent and emergent approach to learner modelling, in Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2002), F. van Harmelen (ed.), IOS Press, Amsterdam, 2002, pp.98-102.

Webber, C., Bergia, L., Pesty, S., Balacheff, N., The Baghera project: a multi-agent architecture for human learning, in Multi-agent architectures for distributed learning environments, Vassileva, J. (ed), 12, 1060-1069. (AIED 2001 workshop proceedings).