

Système dialectique délibératif*

Maxime MORGE¹ Jean-Christophe ROUTIER¹
morge@lifl.fr routier@lifl.fr

¹ Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille

21 septembre 2006

Résumé

Nous proposons dans cet article *DIALP* (*DIALP Is an Argumentative Labour for Planification*), un modèle de dialogue entre agents, qui permet de formaliser un processus délibératif. Ce modèle circonscrit un dispositif formel au travers duquel les agents jouent et arbitrent pour atteindre un accord pratique. À cette intention, nous proposons un modèle de raisonnement argumentatif qui permet de gérer les conflits entre des plans ayant des forces différentes selon l'agent qui les évalue. Nous proposons également un modèle d'agents qui justifient les plans sur lesquels ils s'engagent et prennent en compte les engagements de leurs interlocuteurs. Dans le dispositif que nous avons circonscrit, la décision pratique finale est prise par un agent tiers en fonction de l'autorité de chacun des joueurs et des plans avancés.

Mots Clef

Systèmes multi-agents, Interaction, Dialogue, Argumentation, Planification.

1 Introduction

La collaboration entre des agents autonomes et sociaux pour la réalisation de tâches complexes constitue un problème ouvert muni d'un large champ d'application comme la robotique coopérative ou la composition de services dans le web sémantique. Les conflits entre les intérêts et les perspectives des différents agents constituent une caractéristique essentielle de tels systèmes. Notre objectif consiste à formaliser un processus délibératif à l'aide d'un modèle d'interaction directe entre agents.

L'argumentation est une approche prometteuse pour le raisonnement à partir d'informations inconsistantes et d'objectifs contradictoires. Classiquement, ces techniques s'attachent à la modélisation du raisonnement théorique, *i.e.* dont l'objectif est d'établir la véracité d'une croyance [4, 1, 8, 10]. Nous avons proposé un cadre cohérent qui réconcilie, combine et étend ces techniques dans [7]. Récemment, un certain nombre

de travaux se sont penchés vers la modélisation du raisonnement pratique, *i.e.* dont l'objectif est déterminer quelle séquence d'actions doit être réalisée [2, 9, 11]. Dans [9], Damien Pellier et Humbert Fiorino se focalisent sur un mécanisme générique permettant aux agents de composer leurs compétences dans le but d'élaborer conjointement un plan partagé. Dans cet article, nous considérons que de tels plans ont été établis lors d'une étape précédente de la négociation et nous proposons un mécanisme pour raisonner, échanger et de choisir parmi de tels plans. [5] considère un agent assistant d'aide à la planification. Nous proposons ici un mécanisme dialogique entre agents.

Cet article montre comment formaliser un processus délibératif. Nous présentons ici *DIALP* (*DIALP Is an Argumentative Labour for Planification*), une extension de notre modèle formel de dialogue entre agents [7] adaptée à la délibération. Nous proposons un modèle de raisonnement argumentatif pour gérer les interactions entre des plans conflictuels. Nous proposons également un modèle d'agents. Dans cet article, nous circonscrivons un dispositif formel au travers duquel les agents communiquent pour prendre collectivement une décision pratique.

La section 2 présente le langage que nous utilisons pour l'expression d'un problème de planification. La section 3 présente le cadre de planification argumentative. Nous décrivons dans la section 4 le modèle d'agents utilisé. Dans la section 5, nous définissons le dispositif au travers duquel les agents collaborent pour atteindre un accord sur un plan. La section 6 présente et évalue le protocole utilisé pour atteindre un accord pratique.

2 Langage pour la planification

Dans cette section, nous présentons la syntaxe du langage STRIPS [6] (*Stanford Research Institute Problem Solver*) le langage formel que nous utiliserons par la suite pour l'expression d'une instance d'un problème de planification. Une instance de planification est composée d'un état initial, de la spécification du but à atteindre et d'un ensemble d'actions. Chaque action est définie en terme de pré/post conditions.

Définition 1 Une *instance* est définie par un couple $S = \langle \mathcal{L}, C \rangle$ où :

*Ce travail est cofinancé par le CPER TAC de la région Nord-Pas de Calais et les fonds européens FEDER

- \mathcal{L} est un langage logique du premier ordre. On appelle **condition** un ensemble de formules de ce langage ¹ ;
- $C = A \cup \{i_S, g_S\}$ est une **compétence**, i.e. un ensemble de règles tel que :
 - A est un ensemble d'actions, chaque action a est un quadruplet de conditions $a : \langle \gamma, \delta \rangle \leftarrow \langle \alpha, \beta \rangle$, tel que l'ensemble des formules de α doivent être vérifiées pour que l'action soit exécutée, l'ensemble des formules de β doivent être fausses, l'ensemble des formules de γ sont validées par l'exécution de l'action et l'ensemble des formules de δ deviennent fausses. L'action vide est notée ϵ ;
 - $i_S : \langle \alpha_i, \beta_i \rangle \leftarrow$ est l'état initial, c'est-à-dire un couple de conditions qui sont des ensemble de formules qui sont respectivement vraies et fausses ;
 - $g_S : \langle \gamma_g, \delta_g \rangle \leftarrow$ est la spécification du but à atteindre c'est-à-dire un couple de conditions qui doivent être des ensembles de formules respectivement vraies et fausses.

Puisqu'un état est représentable par un ensemble de conditions, l'incompatibilité entre deux états peut être modélisée de la manière suivante :

Définition 2 Soient $\mathcal{S} = \langle \mathcal{L}, C \rangle$ une instance, $c_1 : \langle \gamma_1, \delta_1 \rangle \leftarrow \langle \alpha_1, \beta_1 \rangle$ et $c_2 : \langle \gamma_2, \delta_2 \rangle \leftarrow \langle \alpha_2, \beta_2 \rangle$ deux règles. c_1 et c_2 sont **incompatibles** (noté $c_1 \perp c_2$) ssi : $(\gamma_1 \cap \delta_2) \cup (\gamma_2 \cap \delta_1) \neq \emptyset$

Puisqu'un état est représentable par un ensemble de conditions, les transitions entre états peuvent être modélisées par le mécanisme d'inférence suivant :

Définition 3 Soit $\mathcal{S} = \langle \mathcal{L}, C \rangle$ une instance. La **règle de transition** \vdash est définie pour deux règles : un état $s (\langle \alpha_s, \beta_s \rangle \leftarrow)$ et une action $a (\langle \gamma_a, \delta_a \rangle \leftarrow \langle \alpha_a, \beta_a \rangle)$ de la manière suivante :

$$s, a \vdash \begin{cases} \langle (\alpha_s \cup \gamma_a) - \delta_a, (\beta_s \cup \delta_a) - \gamma_a \rangle & \text{si } \alpha_a \subseteq \alpha_s \text{ et} \\ & \beta_a \subseteq \beta_s \\ \langle \alpha_s, \beta_s \rangle & \text{sinon} \end{cases}$$

La relation de transition peut être étendue telle que : $c, \epsilon \vdash c$ et $c, (a_1, a_2, \dots, a_n) \vdash (c, a_1 \vdash), (a_2, \dots, a_n)$. Pour une instance, un plan valide (appelé simplement plan) est une séquence d'actions qui peut être exécutée dans un état initial pour atteindre un but final.

Définition 4 Soit $\mathcal{S} = \langle \mathcal{L}, C \rangle$ une instance. Le **plan** $P = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ est une séquence d'actions ($\forall i a_i \in A$) tel que $i, P \vdash g$. P **satisfait** \mathcal{S} ssi $\alpha_i \subseteq \alpha_{i_S}, \beta_i \subseteq \beta_{i_S}, \gamma_{g_S} \subseteq \gamma_g, \delta_{g_S} \subseteq \delta_g$.

Dans la suite de l'article, nous utiliserons ce langage de planification.

¹Pour des raisons computationnelles évidentes, ce langage est dénué de symbole fonctionnel et chaque variable a un domaine de valeur fini.

3 Planification argumentative

Afin de gérer les interactions entre des plans éventuellement conflictuels, nous envisageons dans cette section un modèle de raisonnement argumentatif. Pour planifier, un ensemble d'audiences ($ag_1, \dots, ag_n \in \mathcal{U}$) doivent considérer la même instance (notée $\mathcal{S} = \langle \mathcal{L}, C \rangle$) et la même règle de transition (notée \vdash). Les audiences partagent une compétence argumentative, i.e. un ensemble de règles qui prônent des valeurs :

Définition 5 La **compétence argumentative évaluée** $CA = \langle \mathcal{C}, V, prone \rangle$ est un triplet où :

- \mathcal{C} est une compétence, i.e. un ensemble fini de règles ;
- V est un ensemble fini non-vide de valeurs $\{v_1, \dots, v_t\}$;
- $prone : \mathcal{C} \rightarrow V$ est une fonction qui met en relation les règles et les valeurs.

On dit que la règle c prône la valeur v ssi $prone(c) = v$. pour tout $c \in \mathcal{C}$, $prone(c) \in V$.

Les audiences diffèrent par l'échelle de valeurs à laquelle ils se réfèrent. Ainsi, nous associons à chacun une relation de priorité qui lui est propre :

Définition 6 La **compétence argumentative évaluée de l'audience** ag_i est un quadruplet $CA_i = \langle \mathcal{C}, V, prone, \ll_i \rangle$ où :

- $CA = \langle \mathcal{C}, V, prone \rangle$ est une compétence argumentative évaluée ;
- \ll_i est la relation de priorité de l'audience ag_i , i.e. une relation d'ordre strict et complet sur V .

La relation de priorité d'une audience stratifie la compétence en couches finies disjointes. Selon l'audience ag_i , le niveau de priorité d'une compétence non-vide $C \subseteq \mathcal{C}$ (noté $niveau_i(C)$) correspond à la valeur la moins prioritaire prônée par l'un des éléments de C . On définit un plan argumentatif comme un couple constitué d'une conclusion et d'une prémisse, i.e. un ensemble de règles à partir desquelles la conclusion est déduite.

Définition 7 Soit C une compétence. Un **plan argumentatif** est un triplet $A = \langle P, i_P, g_P \rangle$ où i_P (resp. g_P) est un état initial (resp. la spécification d'un but) et P une séquence de règles de C tels que : $i_P, P \vdash g_P$ est une plan. (i_P, P) est la prémisse de A , notée $premise(A)$. g_P est la conclusion de A , notée $conc(A)$. Le plan argumentatif A' est un **sous-plan** de A ssi $premise(A') \subseteq premise(A)$. A' est un **plan trivial** ssi la prémisse de A' est un singleton restreint à l'état initial.

Dans la suite de cet article, nous parlerons tout simplement de plans pour désigner les plans argumentatifs.

L'ensemble des plans construits à partir de la compétence C (noté $\mathcal{P}(C)$) sont susceptibles d'être conflictuelles. La relation d'attaque entre plans, que nous instancions ici, s'appuie sur les incompatibilités possibles entre leur conclusion.

Définition 8 Soient C une compétence et $A = \langle P, i, g \rangle, B = \langle P', i', g' \rangle \in \mathcal{P}(C)$ deux plans. A **attaque** B ssi $\exists A_1 = \langle P_1, i_1, g_1 \rangle, B_2 = \langle P_2, i_2, g_2 \rangle \in \mathcal{P}(C)$ respectivement sous-plan de A et B tels que $g_1 \perp g_2$. De même, on dit qu'un ensemble S de plans attaque B si B est attaqué par l'un des plans de S .

Puisque chaque audience dispose de sa propre relation de priorité, il peut ignorer l'attaque d'un plan sur un autre plan. L'audience ag_i évalue individuellement la force d'un plan ($force_i(A) = niveau_i(premise(A))$). Selon une audience, un plan défait un autre plan s'ils s'attaquent mutuellement et si le second est plus fort que le premier :

Définition 9 Soient $CA_i = \langle C, V, prone, \ll_i \rangle$ la compétence argumentative évaluée de l'audience ag_i et $A = \langle P, i, g \rangle, B = \langle P', i', g' \rangle \in \mathcal{P}(C)$ deux plans. A **défait** B pour CA_i (noté $defaire_i(A, B)$) ssi $\exists A_1 = \langle P_1, i_1, g_1 \rangle, B_2 = \langle P_2, i_2, g_2 \rangle \in \mathcal{P}(C)$ respectivement sous-plan de A et B tels que : i) $g_1 \perp g_2$; ii) $\neg(niveau_i(P_1) \ll_i niveau_i(P_2))$. De même, on dit qu'un ensemble S de plans défait B si B est défait par l'un des plans de S .

Contrairement à la relation d'attaque, qui est symétrique et objective, la relation de défaite est asymétrique et subjective. Considérer le point de vue individuel de chaque audience, nous amène à nous focaliser sur la notion d'acceptabilité suivante :

Définition 10 Soit $CA_i = \langle C, V, prone, \ll_i \rangle$ la compétence argumentative évaluée de l'audience ag_i . Soient $A \in \mathcal{P}(C)$ un plan et $S \subseteq \mathcal{P}(C)$ un ensemble de plans. A est **subjectivement acceptable pour** CA_i vis à vis de S ssi $\forall B \in \mathcal{P}(C)$ $defaire_i(B, A) \Rightarrow defaire_i(S, B)$.

Ainsi l'ensemble des plans subjectivement acceptables constitue une position consistante d'une audience, appelée extension préférée, qui peut se défendre par elle-même de toute attaque et qui ne peut pas être étendue sans introduire de conflit [4]. Puisque la relation de priorité est une relation d'ordre, cette extension préférée est unique et non-vide [1]. L'exemple suivant permet d'illustrer ces définitions.

Exemple 1 Considérons un robot, ag_1 qui souhaite ouvrir une porte. Sa compétence argumentative évaluée est représentée dans la figure 1. Celle-ci est constituée d'un ensemble de règles (c_{11}, \dots, c_6) et d'un ensemble de valeurs (v_1, \dots, v_6). Les règles qui correspondent à la spécification du but (c_{11}) et à la situation initiale (c_{12}) prônent la valeur v_1 . Les règles de sens commun prônent la valeur v_2 : la règle "ouvrir la porte"

(c_{21}), la préhension (c_{22}) et le déplacement (c_{23}). Des règles particulières comme disposer d'une clef (c_5, c_6) ou transmettre un objet (c_4, c_3) prônent les valeurs v_3, \dots, v_6 . Selon une audience, une valeur au-dessus d'une autre valeur est prioritaire. Puisque la compétence est inconsistante, les quatre plans suivants sont conflictuels :

- $A_1 = ((c_{12}(ag_1), c_6, c_{21}(ag_1), c_{23}(ag_1, fen\hat{e}tre, porte)), \langle ouvert \wedge proche(ag_1, fen\hat{e}tre) \wedge avoir(ag_1, clef), proche(ag_1, porte) \rangle))$;
- $A_2 = ((c_5, c_4(clef), c_{12}(ag_1), c_{21}(ag_1), c_{23}(ag_1, fen\hat{e}tre, porte)), \langle ouvert \wedge proche(ag_1, fen\hat{e}tre) \wedge avoir(ag_1, clef), proche(ag_1, porte), avoir(ag_2, clef) \rangle))$;
- $B_1 = ((c_{12}(ag_2), c_5, c_{21}(ag_2), c_{23}(ag_2, fen\hat{e}tre, porte)), \langle ouvert \wedge proche(ag_2, fen\hat{e}tre) \wedge avoir(ag_2, clef), proche(ag_2, porte) \rangle))$;
- $B_2 = (c_6, c_3(clef), c_{12}(ag_2), c_{21}(ag_2), c_{23}(ag_2, fen\hat{e}tre, porte)), \langle ouvert \wedge proche(ag_2, fen\hat{e}tre) \wedge avoir(ag_2, clef), proche(ag_2, porte) \wedge avoir(ag_1, clef) \rangle)$.

La force de A_1 est v_6 et celle de A_2 est v_4 . La force de B_1 est v_5 et celle de B_2 est v_3 . Ainsi, A_1 défait B_1 mais B_1 ne défait pas A_1 . L'ensemble $\{A_1, A_2\}$ est subjectivement acceptable pour CA_1 vis à vis de $\mathcal{P}(C)$.

Nous avons défini ici le mécanisme de planification. Nous allons présenter dans la section suivante un modèle d'agents qui prennent en considération les plans de leurs interlocuteurs.

4 Modèle d'agents

Dans un système multi-agents, les capacités et les croyances peuvent être communes, complémentaires voire contradictoires. Nos agents échangent des hypothèses et débattent. Ils évaluent individuellement les engagements perçus sur la base de la valeur estimée de l'agent qui a transmis l'information. Les agents, munis de leurs propres compétences, enregistrent les engagements de leurs interlocuteurs. De plus, chacun d'eux évalue individuellement la réputation de ses interlocuteurs. Ainsi, chaque agent est conforme à la définition suivante :

Définition 11 Un **agent** $ag_i \in \mathcal{U}$ est un sextuplet $ag_i = \langle C_i, V_i, \ll_i, prone_i, \cup_{j \neq i} CS_j^i, \prec_i \rangle$ où :

- C_i est une compétence personnelle, i.e. un ensemble de règles personnelles ;
- V_i est un ensemble de valeurs personnelles ;
- $prone_i : C_i \rightarrow V_i$ est une fonction qui met en relation les règles personnelles et les valeurs personnelles ;

\ll_i	V	C	
↑	v_1	$c_{11}(ag_x) : \leftarrow \langle \text{ouvert}, \text{proche}(ag_x, \text{porte}) \rangle$ $c_{12}(ag_x) : \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, \text{porte}), \text{ouvert} \rangle$	
	v_2	$c_{21}(ag_x) : \langle \text{ouvert} \wedge \text{proche}(ag_x, \text{porte}), \emptyset \rangle \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, \text{porte}) \wedge \text{avoir}(ag_x, \text{clef}), \text{ouvert} \rangle$ $c_{22}(ag_x, y) : \langle \text{avoir}(ag_x, y), \emptyset \rangle \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, y), \emptyset \rangle$ $c_{23}(ag_x, y, z) : \langle \text{proche}(ag_x, y), \text{proche}(ag_x, z) \rangle \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, z), \emptyset \rangle$	
	v_6	$c_6 : \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_1, \text{key}), \emptyset \rangle$	
	v_5	$c_5 : \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_2, \text{key}), \emptyset \rangle$	
	v_4	$c_4(z) : \langle \text{avoir}(ag_1, z), \text{avoir}(ag_2, z) \rangle \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_2, z), \emptyset \rangle$	
	v_3	$c_3(z) : \langle \text{avoir}(ag_2, z), \text{avoir}(ag_1, z) \rangle \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_1, z), \emptyset \rangle$	

TAB. 1: Compétence argumentative d'un robot.

- \ll_i est la relation de priorité, i.e. un ordre strict et complet sur V_i ;
- CS_j^i est un tableau d'engagements, i.e. un ensemble de compétences. $CS_j^i(t)$ contient les engagements pris avant ou à l'instant t , où l'agent ag_j est le débiteur et l'agent ag_i le créateur ;
- \prec_i est une relation de réputation, i.e. une relation d'ordre complet et strict sur \mathcal{U} .

Les règles personnelles prônent des valeurs personnelles. Pour tout $r \in \mathcal{C}_i$, $\text{prone}_i(c) = v \in V_i$. Les compétences personnelles ne sont pas nécessairement disjointes. On appelle **compétences commune** l'ensemble des règles explicitement partagées par les agents : $\mathcal{C}_\Omega \subseteq \bigcap_{ag_i \in \mathcal{U}} \mathcal{C}_i$. De même, les ensembles de valeurs personnelles ne sont pas nécessairement disjointes. On appelle **valeurs communes** les valeurs explicitement partagées par les agents : $V_\Omega \subseteq \bigcap_{ag_i \in \mathcal{U}} V_i$. Les règles communes prônent des valeurs communes. Pour tout $c \in \mathcal{C}_\Omega$, $\text{prone}_\Omega(c) = v \in V_{\Omega_A}$. Les compétences personnelles peuvent être complémentaires ou contradictoires. On appelle **compétence conjointe** l'ensemble des règles distribuées dans le système : $\mathcal{C}_\mathcal{U} = \bigcup_{ag_i \in \mathcal{U}} \mathcal{C}_i$. Les règles propres à l'agent prônent des valeurs propres à l'agent. Pour tout $c \in \mathcal{C}_i - \mathcal{C}_\Omega$, $\text{prone}_i(c) = v \in V_i - V_\Omega$.

La réputation est une relation hiérarchique et un concept social qui lie un agent à ses interlocuteurs [3]. $ag_j \prec_i ag_k$ signifie que l'agent ag_i a plus confiance en l'agent ag_k qu'en l'agent ag_j .

Afin de prendre en compte les règles notifiées dans les tableaux d'engagements, nous associons à chaque agent une compétence argumentative étendue définie comme suit :

Définition 12 La **compétence argumentative étendue de l'agent ag_i** est la compétence argumentative valuée $CA_i^* = \langle \mathcal{C}_i^*, V_i^*, \text{prone}_i^*, \ll_i^* \rangle$ où :

- $\mathcal{C}_i^* = \mathcal{C}_i \cup [\bigcup_{j \neq i} CS_j^i]$ est la compétence personnelle étendue de l'agent qui comprend la compétence personnelle de cet agent et l'ensemble des engagements perçus ;
- $V_i^* = V_i \cup [\bigcup_{j \neq i} \{v_j^i\}]$ est l'ensemble étendu des valeurs personnelles de l'agent qui comprend l'ensemble des valeurs personnelles de cet agent et les valeurs de réputation de ses interlocuteurs ;

- $\text{prone}_i^* : \mathcal{C}_i^* \rightarrow V_i^*$ est l'extension de la fonction prone_i qui met en relation la compétence personnelle étendue avec l'ensemble étendu des valeurs personnelles. D'une part, les règles personnelles prônent des valeurs personnelles. D'autre part, les règles dans le tableau d'engagements CS_j^i prônent la valeur de réputation v_j^i ;
- \ll_i^* est la relation de priorité étendue de l'agent, i.e. une relation binaire sur V_i^* .

Pour délibérer, les agents doivent partager un ensemble de règles communes (spécification du but commun, situation initiale commune, sens commun, ...) qu'ils considèrent primordiales. Ainsi, les valeurs communes sont prioritaires. De même, pour délibérer, les agents doivent considérer leurs propres règles plus crédibles que celles de leurs interlocuteurs. Ainsi, les valeurs personnelles sont prioritaires sur les valeurs de réputation. En d'autres termes, la relation de priorité étendue est conforme à la formule suivante : $\forall ag_j \in \mathcal{U} \forall v_\omega \in V_\Omega \forall v \in V_i - V_\Omega (v_j^i \ll_i^* v \ll_i^* v_\omega)$. On peut alors facilement démontrer que la relation de priorité étendue est une relation d'ordre strict et complet. Un plan est acceptable par l'agent ag_i s'il est subjectivement acceptable par CA_i^* vis à vis de l'ensemble des plans $\mathcal{P}(\mathcal{C}_i^*)$. Cet agent est ici **convaincu par une règle c** si c 'est la conclusion d'un plan acceptable.

Afin que les agents échangent des règles, nous définissons un **langage de communication**, $\mathcal{CL}_\mathcal{U}$. Un message $M_k = \langle S_k, H_k, A_k \rangle \in \mathcal{CL}_\mathcal{U}$ est émis par un locuteur ($S_k = \text{locuteur}(M_k)$) et adressé à un allocataire ($H_k = \text{allocataire}(M_k)$), i.e. l'un des agents de l'audience. $A_k = \text{acte}(M_k)$ est l'acte de langage du message. Il est composé d'une locution et d'un contenu. La locution est l'une des suivantes : **questionne**, **affirme**, **ignore**, **concède**, **doute**, **abandonne**. Le contenu, également appelé **hypothèse**, est une règle ou un ensemble de règles. Nous donnons à ce langage de communication une sémantique argumentative et sociale qui permet d'échanger des **hypothèses**, i.e. de règles.

Par exemple, la figure 1 présente la sémantique associée à l'affirmation d'une hypothèse. Un agent peut affirmer une hypothèse s'il dispose d'un plan en sa faveur. Le tableau d'engagement correspondant est mis à jour. Les hypothèses reçues doivent être valuées. À cette intention, les engagements sont considérés en

- MESSAGE :
 $M_l = \langle ag_i, ag_j, \text{affirme}(h) \rangle$
- SÉMANTIQUE ARGUMENTATIVE :
 $\exists A \in \mathcal{P}(\mathcal{C}_i^*) \text{ conc}(A) = h$
- SÉMANTIQUE SOCIALE :
 Pour tout agent ag_k de l'audience
 $CS_i^k(t) = CS_i^k(t-1) \cup \{h\}$

FIG. 1: Sémantique de l'affirmation à l'instant t

fonction de la réputation estimée de l'agent qui a transmis l'information. L'exemple suivant illustre ce principe.

Exemple 2 *Considérons que l'agent ag_2 émet le message suivant :*

$M_1 = \langle ag_2, ag_1, \text{affirme}(\langle \text{ouvert} \wedge \text{proche}(ag_2, \text{fenêtre}) \wedge \text{avoir}(ag_2, \text{clef}), \text{proche}(ag_2, \text{porte}) \rangle) \rangle$
La compétence argumentative étendue de l'agent ag_1 est représentée dans la table 2. La compétence personnelle étendue est constituée de la compétence personnelle de cet agent et de l'hypothèse avancée par l'agent ag_2 . L'ensemble étendu des valeurs personnelles est constitué de l'ensemble des valeurs personnelles et de la valeur de réputation de l'agent ag_2 . Les compétences, qui correspondent à la spécification du but commun, à la situation initiale commune et aux règles de sens commun, constitue la compétence commune qui prône les valeurs communes : v_1 et v_2 . Selon les plans A_1 et A_2 , c'est l'agent ag_1 qui ouvre la porte. Selon les plans B_1 , B_2 et B'_1 c'est l'agent ag_2 qui ouvre la porte. B'_1 est un plan trivial fondé sur le tableau d'engagement.

Nous avons proposé ici un modèle d'agents qui échangent des hypothèses. Dans la section suivante, on circonscrit le dispositif formel dans lequel ces agents jouent et arbitrent.

5 Dispositif formel

Lorsque des agents délibèrent, ils se répondent les uns aux autres afin d'atteindre le but de l'interaction. Dans cette section, nous présentons le dispositif formel au travers duquel les agents dialoguent. De plus, nous avons adjoint un agent tiers qui arbitre le dialogue en fonction de l'autorité de chacun des joueurs et des plans avancés.

Nous avons défini dans [7] un langage de coup dialogique $\mathcal{ML}_{\mathcal{U}}$ qui permet aux agents de se répondre. Au cours des échanges, les actes de langage ne sont pas isolés mais se répondent les uns aux autres. Un **coup dialogique** $\text{coup}_k = \langle M_k, R_k, P_k \rangle \in \mathcal{ML}_{\mathcal{U}}$ contient un message M_k . $R_k = \text{répond}(\text{coup}_k)$ est l'identifiant du coup auquel coup_k répond. Un coup (coup_k) est soit un coup d'initialisation ($\text{répond}(\text{coup}_k) = \text{nil}$) soit un coup de réponse ($\text{répond}(\text{coup}_k) \neq \text{nil}$). $P_k =$

$\text{Protocole}(\text{coup}_k)$ est le nom du protocole utilisé. Un système dialectique met en jeu trois agents. Deux joueurs dialoguent, en présence d'un juge, à propos d'un but à atteindre, *i.e.* le thème.

Définition 13 *Soit $CA_{\Omega} = \langle \mathcal{C}_{\Omega}, V_{\Omega}, \text{prone}_{\Omega} \rangle$ une compétence argumentative évaluée et c_0 la spécification d'un but. Le **système dialectique** qui porte sur c_0 est le septuplet $DS_M(c_0, CA_{\Omega}) = \langle N, \text{juge}, H, T, \text{Protocole}, Z, (u_p)_{p \in N} \rangle$ où :*

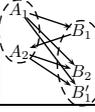
- $N = \{\text{init}, \text{part}\} \subset \mathcal{U}$ est un ensemble de deux agents appelés joueurs : l'initiateur et le partenaire ;
- $\text{juge} \in \mathcal{U}$ est un troisième agent, appelé juge, dont la compétence personnelle se limite à la compétence commune ($\mathcal{C}_{\text{juge}} = \mathcal{C}_{\Omega}$) ;
- $M \subseteq \mathcal{ML}_{\mathcal{U}}$ est un ensemble de coups bien formés ;
- H est l'ensemble des historiques, *i.e.* les séquences de coups bien formés tq le locuteur d'un coup est déterminé par une fonction de tour de parole et tq les coups soient conformes à un protocole ;
- $T : H \rightarrow N$ est la fonction de tour de parole. Si $|h| = 2n$ alors $T(h) = \text{init}$ sinon $T(h) = \text{part}$;
- $\text{Protocole} : H \rightarrow M$ est la fonction qui détermine les coups autorisés ;
- Z est l'ensemble des dialogues, *i.e.* les historiques de taille maximale ;
- $u_{\text{init}}, u_{\text{part}} : H \rightarrow \{-1, 1\}$ *i.e.* les fonctions de gains qui déterminent si un joueur est ou non vainqueur de l'historique.

Un coup d'initialisation est bien formé si c'est une question sur le thème, proférée par l'initiateur à l'intention du partenaire. Un coup de réponse émis par un joueur est bien formé s'il répond à un des coups précédents émis par l'autre joueur. Évidemment, le même protocole doit être conservé au cours des échanges. Pour un historique h , le juge est associé à la compétence argumentative étendue $CA_{\text{juge}}^*(h) = \langle \mathcal{C}_{\text{juge}}^*(h), V_{\text{juge}}^*, \text{prone}_{\text{juge}}^*, \ll_{\text{juge}}^* \rangle$. où :

- la compétence personnelle étendue est constituée de la compétence commune et des engagements de chacun des joueurs : $\mathcal{C}_{\text{juge}}^*(h) = \mathcal{C}_{\Omega} \cup CS_{\text{init}}^{\text{juge}}(h) \cup CS_{\text{part}}^{\text{juge}}(h)$;
- l'ensemble étendu des valeurs personnelles est constitué de l'ensemble des valeurs communes et des valeurs de réputation des joueurs : $V_{\text{juge}}^* = V_{\Omega} \cup \{v_{\text{init}}^{\text{juge}}, v_{\text{part}}^{\text{juge}}\}$.

$\mathcal{S}_{\text{juge}}^*(h)$ (respectivement $\mathcal{S}_p^*(h)$, $p \in N$) dénote l'ensemble des plans acceptables pour le juge (respectivement un joueur).

L'arbitrage du juge, qui est responsable de l'accord pratique final, dépend des plans échangés et de son estimation de la réputation des joueurs. On dit qu'une

\ll_1	V	C		
↑	v_1	$c_{11}(ag_x) : \langle \text{ouvert}, \text{proche}(ag_x, \text{porte}) \rangle \leftarrow$ $c_{12}(ag_x) : \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, \text{porte}), \text{ouvert} \rangle$		
	v_2	$c_{21}(ag_x) : \langle \text{ouvert} \wedge \text{proche}(ag_x, \text{porte}), \emptyset \rangle \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, \text{porte}) \wedge \text{avoir}(ag_x, \text{clef}), \text{ouvert} \rangle$ $c_{22}(ag_x, y) : \langle \text{avoir}(ag_x, y), \emptyset \rangle \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, y), \emptyset \rangle$ $c_{23}(ag_x, y, z) : \langle \text{proche}(ag_x, y), \text{proche}(ag_x, z) \rangle \leftarrow \langle \text{proche}(ag_x, z), \emptyset \rangle$		
	v_6	$c_6 : \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_1, \text{key}), \emptyset \rangle$		
	v_5	$c_5 : \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_2, \text{key}), \emptyset \rangle$		
	v_4	$c_4(z) : \langle \text{avoir}(ag_1, z), \text{avoir}(ag_2, z) \rangle \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_2, z), \text{avoir}(ag_1, z) \rangle$		
	v_3	$c_3(z) : \langle \text{avoir}(ag_2, z), \text{avoir}(ag_1, z) \rangle \leftarrow \langle \text{avoir}(ag_1, z), \text{avoir}(ag_2, z) \rangle$		
	v_7^2	$CS_7^2 = \{ \langle \text{ouvert} \wedge \text{proche}(ag_2, \text{fenêtre}) \wedge \text{avoir}(ag_2, \text{clef}), \text{proche}(ag_2, \text{porte}) \rangle \leftarrow \}$		

TAB. 2: Compétence argumentative étendue du premier agent

compétence c_1 est **crédible pour l'historique** h (noté $\text{provable}^h(c_1)$) si le juge est convaincu par c_1 pour l'historique h .

Puisque le juge arbitre, il décide si un joueur est (ou non) un vainqueur :

- si $\text{provable}^h(c_1)$ alors $(u_p(h) = 1 \Leftrightarrow \exists A \in \mathcal{S}_p^*(h) \text{ conc}(A) = c_1)$;
- si $\text{provable}^h(c_2)$, avec $c_2 \perp c_1$ alors $(u_p(h) = 0 \Leftrightarrow \exists A \in \mathcal{S}_p^*(h) \text{ conc}(A) = c_1)$.

Pour des raisons théoriques, nous avons introduit dans [7] un agent fictif, appelé **agent omniscient**. Cet agent est associé à une compétence argumentative. Sa compétence personnelle résulte de l'union des compétences personnelles de chacun des joueurs. De plus, il dispose de la même relation de réputation que le témoin. L'arbitrage de l'agent omniscient, qui est la projection de l'accord potentiel, dépend des plans disponibles dans le système dialectique et de son estimation de la réputation des joueurs. On dit qu'une règle c_1 est un **consensus** (noté $\text{consensus}(c_1)$) si le juge est convaincu par c_1 .

Nous avons défini dans [7] qu'un dialogue est correct si le témoin dispose, au terme du dialogue, d'un plan pour le thème. Un dialogue est complet si le juge et l'agent omniscient envisage le même plan.

Définition 14 Soit $DS_M(c_0, CA_\Omega) = \langle N, \text{juge}, H, T, \text{Protocole}, Z, (u_p)_{p \in N} \rangle$ un système dialectique multi-agents qui porte sur le thème c_0 . Soit $h \in Z$ un dialogue.

- le dialogue est **correct** ssi : $\exists c_1 \in \mathcal{C}_{\text{juge}}^*(h) \ c_1 \vdash c_0 \wedge \text{provable}^h(c_1)$.
- le dialogue est **complet** ssi : $\exists c_1 \in \mathcal{C}_{\text{juge}}^*(h) \ c_1 \vdash c_0 \wedge (\text{consensus}(c_1) \Rightarrow \text{provable}^h(c_1))$.

Le témoin est, au terme d'un dialogue correct, convaincu par une règle qui permet de déduire le thème. Au terme d'un dialogue, le témoin ne dispose que d'une partie de l'ensemble des plans de chacun des joueurs. L'agent omniscient peut, quant à lui disposer d'un plan qui n'est ni dans l'ensemble des plans de l'initiateur ni dans l'ensemble des plans du partenaire. En conséquence, la conviction du témoin au terme du dialogue n'est pas nécessairement la même que celle de l'agent omniscient. Il est probable que certains plans n'aient pas été avancés.

Nous avons ici circonscrit le dispositif formel qui permet d'évaluer les dialogues qui s'y déroulent. Le système dialectique ainsi défini nous permet non seulement des persuasions [7] mais également comme ci-dessous des délibérations.

6 Délibération

Lorsque des agents délibèrent, ils collaborent afin de confronter leurs convictions. Dans cette section nous illustrons le système dialectique présenté précédemment à l'aide d'un protocole qui permet d'atteindre un accord pratique.

Le protocole de délibération est un protocole à réponses uniques : les joueurs ne peuvent apporter qu'une seule réponse à chacun des coups de leur interlocuteur. En d'autres termes, chaque coup, à l'exception du coup d'initialisation, répond au coup précédent. ($\text{répond}(\text{coup}_{k+1}) = \text{coup}_k$). Afin d'éviter la présence de boucles, la redondance d'hypothèses est interdite dans les affirmations. Le protocole est constitué de règles de séquence représentées dans le tableau 6. Chaque règle spécifie les réponses autorisées à un coup. Contrairement aux réponses qui résistent, les actes qui abdiquent mettent fin au dialogue. Considérons la règle d'"Affirmation/Réfutation" (noté $\text{sr}_{A/R}$). Elle précise les coups autorisés pour répondre à une précédente affirmation ($\text{affirme}(H)$). Une concession abdique ($\text{concède}(H)$). Une mise en doute ($\text{doute}(h)$) ou une réfutation ($\text{affirme}(h_2)$) résistent à l'affirmation précédente.

La figure 2 représentent un jeu délibératif sous forme normale extensive où les noeuds sont des situations de jeux et les arêtes sont associées à des coups. Par exemple, 2.3^{init} est une situation où l'exposant indique que l'initiateur est le locuteur du coup suivant. 2.1^\square , 3.2^\square et 4.2^\square sont des situations de fin de jeu. Pour assurer la clarté de cette figure, les jeux suivant les situations 2.2^{init} , 4.4^{init} et 7.2^{part} n'ont pas été représentés.

Un initiateur débute une délibération afin de confronter sa conviction avec celle du partenaire. Si le partenaire ne dispose d'aucun plan pour le thème, il avoue son ignorance (cf situation 2.1^\square). Si les joueurs ont la même conviction, le juge est convaincu et le dialogue est clos (cf situation 3.2^\square). Dans le cas contraire, le but d'un tel dialogue est d'atteindre un accord pratique.

Règles	Actes	Résistances	Abdiqations
$sr_{Q/A}$	questionne(c_0)	affirme(c_1), $c_1 \vdash c_0$	ignore(c_0)
$sr_{A/R}$	affirme(H)	doute(h), $h \in H$ affirme(h_2), $\exists h_1 \in H h_1 \perp h_2$	concède(H)
$sr_{C/A}$	doute(h)	affirme(H), $H \vdash h$	abandonne(h)
sr_T	ignore(H)	\emptyset	\emptyset
	concède(H)	\emptyset	\emptyset
	abandonne(H)	\emptyset	\emptyset

TAB. 3: Actes de langage et leurs réponses.

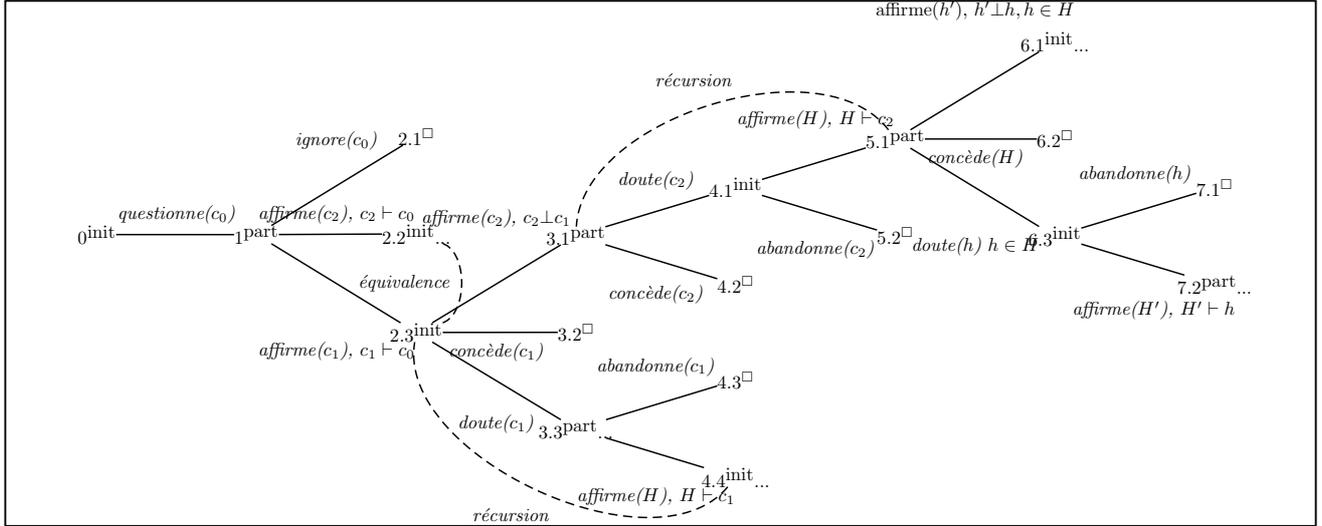


FIG. 2: Représentation d'un jeu délibératif sous forme normale extensive

La terminaison des délibérations ainsi que leur correction est garantie.

Théorème 1 Soit $DS_M(c_0, CA_\Omega) = \langle N, \text{juge}, H, T, \text{Protocole}, Z, (u_p)_{p \in N} \rangle$ un système dialectique qui porte sur le thème c_0 et qui emploie un protocole de délibération à réponses uniques.

1. La délibération ($h \in Z$) est finie.
2. la délibération ($h \in Z$) est correcte.

Démonstration 1 1) Les situations de jeu 2.2^{init} et 2.3^{init} sont équivalentes par leur contenu. La situation de jeu 2.3^{init} est équivalente à la situation 4.4^{init} par récursion sur le contenu de la précédente affirmation. Les situations 3.1^{part} et 5.1^{part} sont équivalentes par symétrie par le contenu de la précédente affirmation. De plus, la redondance d'information est interdite entre les différentes affirmations et par conséquent la présence de boucles dans un dialogue. Parce que les domaines de valeur des variables sont finis et que le langage est dénué de symbole fonctionnel, les compétences personnelles sont finies. Par conséquent, la récursion est finie et le dialogue est clos.

2) Le partenaire est convaincu par c_1 . Par conséquent, la situation de jeu 2.3^{init} est atteinte. L'initiateur est convaincu par c_2 . Par conséquent, la situation de jeu

3.1^{part} est atteinte. Puisque la redondance d'information est interdite, la situation 4.1^{init} est atteinte. Dans la situation de fin de jeu 5.2^\square , le juge dispose d'un plan trivial pour c_2 et d'un plan trivial pour c_1 : soit $init \prec_{\text{juge}} part$ et le témoin est convaincu c_1 , soit $part \prec_{\text{juge}} init$ et le juge est convaincu par c_2 . Dans la situation de fin de jeu 6.2^\square , le juge est convaincu par c_2 . Les autres situations sont équivalentes par le contenu des coups précédents. Au terme du dialogue, le juge est convaincu soit par c_1 soit par c_2 . En d'autres termes, la délibération est correcte.

L'exemple suivant décrit une délibération correcte et complète.

Exemple 3 Considérons une délibération entre deux agents. Dans la situation initiale, les compétences argumentatives évaluées de l'agent ag_1 (respectivement ag_2) est constituée de la compétence commune ($C_\Omega = \{c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}, c_{23}\}$) et de la règle c_6 (respectivement c_5). Les tableaux d'engagements sont le résultats de la séquence des coups (cf table 4). L'arbitrage du témoin dépend de la compétence estimée des joueurs et du plan échangé. Si l'agent ag_1 est considéré comme plus compétent que l'agent ag_2 , alors le témoin est convaincu par $c_{11}(ag_1)$. L'agent ag_1 est alors le vainqueur.

$\mathcal{C}_1^* - \mathcal{C}_\Omega$		\mathcal{C}_Ω	$\mathcal{C}_2^* - \mathcal{C}_\Omega$	
		$c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}, c_{23}$		
\mathcal{C}_1	$\mathcal{C}S_2^1$	Situation de jeu	$\mathcal{C}S_1^2$	\mathcal{C}_2
c_6	\emptyset	0	\emptyset	c_5
$\rightarrow \text{questionne}(c_{11}(x)) \rightarrow$				
c_6	\emptyset	1	\emptyset	c_5
$\leftarrow \text{affirme}(c_{11}(\text{ag}_2)) \leftarrow$				
c_6	$c_{11}(\text{ag}_2)$	2	\emptyset	c_5
$\rightarrow \text{affirme}(c_{11}(\text{ag}_1)) \rightarrow$				
c_6	$c_{11}(\text{ag}_2)$	3	$c_{11}(\text{ag}_1)$	c_5
$\leftarrow \text{doute}(c_{11}(\text{ag}_1)) \leftarrow$				
c_6	$c_{11}(\text{ag}_2)$	4	$c_{11}(\text{ag}_1)$	c_5
$\rightarrow \text{affirme}(c_{12}(\text{ag}_1), c_6, c_{21}(\text{ag}_1), c_{23}(\text{ag}_1, \text{porte}, \text{fen\^e}tre)) \rightarrow$				
c_6	$c_{11}(\text{ag}_2)$	5	$c_6, c_{11}(\text{ag}_1)$	c_5
$\leftarrow \text{doute}(c_6) \leftarrow$				
c_6	$c_{11}(\text{ag}_2)$	6	$c_6, c_{11}(\text{ag}_1)$	c_5
$\rightarrow \text{abandonne}(c_6) \rightarrow$				
c_6	$c_{11}(\text{ag}_2)$	\square	$c_6, c_{11}(\text{ag}_1)$	c_5

TAB. 4: Dialogue pour atteindre un accord

Nous avons proposé et évalué ici un protocole de délibération qui permet d’atteindre un accord pratique.

7 Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé DIALP, un modèle de dialogue entre agents, qui permet de formaliser un processus délibératif. Ce modèle circonscrit un dispositif formel au travers duquel les agents jouent et arbitrent pour atteindre un accord pratique. À cette intention, nous avons proposé un modèle de raisonnement argumentatif qui permet de gérer les conflits entre des plans, ayant des forces différentes selon l’agent qui les évalue. Nous avons également présenté un modèle d’agents qui justifient les plans sur lesquels ils s’engagent et prennent en compte les engagements de leurs interlocuteurs. Dans le dispositif que nous avons circonscrit, un agent tiers prend la décision pratique finale en fonction de l’autorité de chacun des joueurs et des plans avancés.

Références

- [1] T.J.M Bench-Capon. Value based argumentation frameworks. In *Proc. of Non Monotonic Reasoning*, pages 444–453, 2002.
- [2] Trevor Bench-Capon. Persuasion in practical argument using value-based argumentation frameworks. *J. Log. Comput.*, 3(13) :429–448, 2003.
- [3] C. Castelfranchi and R. Falcone. Principles of trust in mas : Cognitive anatomy, social importance, and quantification. In *Proceedings of IC-MAS’98*, pages 72–79, 1998.
- [4] Phan Minh Dung. On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games. *Artif. Intell.*, 77(2) :321–357, 1995.
- [5] George Ferguson and James F. Allen. Cooperative plan reasoning for dialogue systems. In

AAAI Fall Symposium on Human Computer Collaboration, Raleigh NC, 1993.

- [6] R. Fikes and N. Nilsson. Strips : A new approach to the application of theorem proving to problem solving. *Art. Intell.*, 2(3-4) :189–208, 1971.
- [7] Maxime Morge. Système dialectique au travers duquel les agents jouent et arbitrent. vers une prise de décision collective et débattue. In *Actes des Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents*, pages 115–127. Hermès, 2005.
- [8] Simon Parsons, Carles Sierra, and Nicholas R. Jennings. Agents that reason and negotiate by arguing. *Journal of Logic and Computation*, 3(8) :261–292, 1998.
- [9] D. Pellier and H. Fiorino. Dialectical theory for multi-agent assumption-based planning. In *Proc. of CEEMAS*, pages 367–376, 2005.
- [10] Henry Prakken. On dialogue systems with speech acts, arguments, and counterarguments. In *Proc. of the JELIA ’2000*, pages 224–238, 2000.
- [11] I. Rahwan and L. Amgoud. An argumentation-based approach for practical reasoning. In *Proc. of AAMAS*, 2006.