CHAPITRE

Allocation des buts affectés à un groupe d'agents

Laurence Cholvy, Christophe Garion

ONERA Toulouse
2 bis avenue Edouard Belin
BP 4035
31055 Toulouse Cedex 4
{cholvy, garion}@cert.fr

Résumé

Dans ce travail, nous présentons un formalisme permettant de déterminer, à partir des buts assignés à un ensemble d'agents et d'une représentation des agents, les buts individuels de chaque agent du groupe. Pour cela, nous utilisons CO^*, une logique de préférences conditionnelles développée par Craig Boutilier. Nous étendons CO^* et les notions développées par Boutilier au cas multi-agents.

1 INTRODUCTION

Pour atteindre un but complexe, il est en général nécessaire de faire appel à plusieurs agents. Cet ensemble d'agents dépend des caractéristiques du but à atteindre, comme par exemple sa complexité, le délai imposé pour l'atteindre etc. Mais il dépend également de caractéristiques propres aux agents, comme leurs compétences, leur charge de travail admissible, leurs propres souhaits etc. Ainsi, de façon intuitive, on peut penser que si le but à atteindre est complexe dans le sens où qu'il nécessite de nombreuses compétences, et si les agents considérés sont très spécialisés, alors le nombre d'agents nécessaire pour atteindre le but imposé sera élevé ; par contre, si le délai imposé pour atteindre le but imposé est long ou si la charge admissible de travail par agent est élevée, alors un petit nombre d'agents sera suffisant pour réaliser cet ensemble de tâches.

Dans un tel contexte, de nombreux problèmes se posent : on peut, par exemple, se demander comment créer une coalition d'agents lorsqu'un seul agent ne suffit pas pour réaliser une tâche [17]. On peut également chercher à optimiser le nombre d'agents.

Dans cet article, nous adressons un problème un peu différent : il s'agit de déterminer, en fonction des buts à atteindre par le groupe et en fonction des agents que l'on considère, quels sont les buts que l'on peut affecter, de façon individuelle, à chacun des agents. Autrement dit, le problème que nous étudions ici est celui de l'affectation des buts individuels des agents en fonction des buts affectés à un groupe d'agents et bien sûr en fonction des caractéristiques de ces agents.

On peut remarquer que ce problème n'est pas celui de déterminer les buts d'un groupe d'agents en fonction des buts de chaque agent, problème déjà étudié (cf. [15]).

Dans notre travail, nous avons choisi de modéliser les buts affectés au groupe d'agents par un ensemble de préférences conditionnelles de la logique CO^* développée par Boutilier [2], qui dans [3] étudie ce même problème mais dans un cas mono-agent.

Dans cet article, Boutilier justifie l'utilisation d'une logique de préférences conditionnelles pour exprimer et raisonner sur des buts : *Un but est une proposition dont on désire qu'un agent la rende vraie. [...] Malheureusement, tous les buts ne sont pas atteignables. Par exemple, même si mon robot a pour but de m'apporter du café, il se peut qu'il ne puisse pas le faire car la machine à café est hors de service. [...] De plus, certains buts peuvent ne pas être atteints pour d'autres raisons que l'impossibilité de les atteindre. Il est par exemple fréquent de spécifier des buts généraux et de lister aussi des circonstances exceptionnelles qui rendent ces buts moins désirables que d'autres. [...] Plutôt qu'une distinction entre situations désirables et situations indésirables, on va ordonner les mondes possibles selon leur degré de préférence. Les mondes les plus préférés correspondent aux buts dans le sens classique du terme. Toutefois, lorsque ces buts ne pas atteignables, un ordre sur les situations alternatives devient nécessaire*.

À partir des préférences conditionnelles d'un seul agent, le formalisme proposé par Boutilier permet de déterminer quels sont les buts de l'agent et ce en fonction de sa capacité à contrôler telle ou telle proposition. Notre objectif est d'étendre le travail de Boutilier à un cadre multi-agents et de pouvoir, à partir d'un ensemble de préférences conditionnelles qui modélise les buts affectés au groupe d'agents, de déterminer quels sont les buts effectifs de chaque agent, c'est-à-dire d'allouer à chacun des agents les buts qu'il doit effectivement atteindre.

Pour cela, il convient de modéliser les agents, et notamment leurs connaissances, leurs intentions, leur savoir-faire, leurs ressources etc [21].

Dans ce travail, nous prendrons en compte uniquement trois caractéristiques des agents qui sont :

– leur connaissance du monde réel (i.e. ce qui est vrai), en supposant que tous les agents ont la même connaissance du monde réel ;
– leur capacité à changer la valeur de vérité d'une proposition et qui peut modéliser d'une certaine façon la notion de compétence des agents ;
– leurs engagements, car nous supposerons que les agents peuvent s'exprimer sur le fait qu'ils s'engagent à réaliser ou à ne pas réaliser telle tâche.

Tout comme le fait Boutilier, nous considérons donc un ensemble KB des connaissances des agents au sujet du monde réel, et nous associons à tout agent l'ensemble des variables propositionnelles qu'il peut contrôler.

Le processus d'allocation de buts défini dans ce qui suit doit être vu comme un processus géré par une autorité centrale qui dispose de toutes ces données. Cette autorité doit alors allouer à chaque agent exécutant un certain nombre de tâches qui sont censées valider une partie des buts du groupe d'agents. Ces tâches sont déterminées en fonction des compétences de chacun des agents, mais également de ses engagements et de ceux des autres agents. Nous nous affranchissons donc des problèmes de communication pouvant exister entre les différents agents exécutants. En particulier, nous n'étudions pas les cas de négociations entre des agents exécutants qui partagent des ressources communes (cf. [13, 14, 11]). Ces problèmes sont occultés par la présence de l'entité centrale qui régit le processus de distribution.

En ce qui concerne la modélisation des engagements des agents, notion qui n'apparait pas dans le travail de Boutilier, bien qu'elle puisse se modéliser en logique modale [9], [18], [19], [16], nous avons choisi dans cet article [1] de la modéliser à l'aide d'ensembles de formules de la logique propositionnelle.

Cet article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous présentons la logique CO^* et le mécanisme de dérivation de but pour un agent. Dans la section 3, nous étendons CO^* au cas multi-agents, tout d'abord en étendant la notion de contrôlabilité puis la notion de but à un groupe d'agents. Nous définissons ensuite la notion d'engagement pour un agent, nous présentons comment déterminer les buts effectifs d'un agent, les propriétés de notre formalisme et nous étudions un exemple. Enfin, nous présentons nos conclusions et les perspectives de poursuite de ce travail dans la section 4.

[1] et ce pour nous focaliser sur le processus d'allocation des buts individuels

2 LA LOGIQUE CO^*

Dans cette section, nous présentons la logique CO développée par Boutilier pour raisonner avec des préférences conditionnelles. Nous rappelons sa sémantique, l'axiomatique de CO étant détaillée dans [2]. Puis, nous présentons CO^*, une restriction de CO.

2.1 Sémantique de CO

Boutilier considère un langage propositionnel bimodal L_B, basé sur un langage propositionnel $PROP$, et dont les deux opérateurs modaux sont $\Box$ et $\overleftarrow{\Box}$. La sémantique de L_B est basée sur la définition des modèles suivante : $M = \langle W, \leq, \phi \rangle$ où W est un ensemble de mondes possibles, ϕ est une fonction de valuation[2], et $\leq$ est un préordre total[3] sur les mondes qui permet d'exprimer la préférence ($v \leq w$ signifie que v est au moins autant préféré que w).

Soit $M = \langle W, \leq, \phi \rangle$ un modèle. La valuation d'une formule dans M est donnée par la définition suivante :

Définition 1
- $M \models_w \alpha$ *ssi* $w \in \phi(\alpha)$ *pour toute variable propositionnelle* α
- $M \models_w \neg\alpha$ *ssi* $M \not\models_w \alpha$ *pour toute formule* α
- $M \models_w (\alpha_1 \wedge \alpha_2)$ *ssi* $M \models_w \alpha_1$ *et* $M \models_w \alpha_2$ *si* α_1 *et* α_2 *sont des formules*
- $M \models_w \Box\alpha$ *ssi pour tout* v *tel que* $v \leq w$*,* $M \models_v \alpha$
- $M \models_w \overleftarrow{\Box}\, \alpha$ *ssi pour tout* v *tel que* $w < v$*,* $M \models_v \alpha$

$\Box\alpha$ est vrai dans un monde w si α est vrai dans tous les mondes au moins autant préférés que w. $\overleftarrow{\Box}\, \alpha$ est vrai dans un monde w si α est vrai dans tous les mondes moins préférés que w.

Les connecteurs duaux de « possibilité » sont définis comme d'habitude : $\Diamond\alpha \equiv_{def} \neg\Box\neg\alpha$ et $\overleftarrow{\Diamond}\, \alpha \equiv_{def} \neg\, \overleftarrow{\Box}\, \neg\alpha$.

Boutilier définit de plus $\overleftrightarrow{\Box}\, \alpha \equiv_{def} \Box\alpha \wedge \overleftarrow{\Box}\, \alpha$ et $\overleftrightarrow{\Diamond}\, \alpha \equiv_{def} \Diamond\alpha \vee \overleftarrow{\Diamond}\, \alpha$.

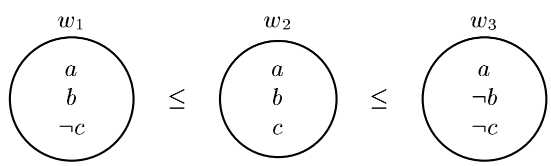
---

[2] i.e. $\phi : PROP \rightarrow 2^{\mathcal{W}}$ et ϕ vérifie $\phi(\neg\varphi) = \mathcal{W} - \phi(\varphi)$ et $\phi(\varphi_1 \wedge \varphi_2) = \phi(\varphi_1) \cap \phi(\varphi_2)$

[3] $\leq$ est une relation reflexive, transitive et connectée

Définition 2
$M = \langle W, \leq, \phi \rangle$ satisfait la formule α ssi $\forall w \in W$ $M \models_w \alpha$. On le note $M \models \alpha$.

Pour un exemple, on peut se reporter à la figure ci-après, où l'on a un modèle M tel que $M \models \overleftrightarrow{\Box}\, a$ (car tous les mondes satisfont a) et $M \models_{w_2} \Box b$ (car tous les mondes au moins autant préférés que w_2 satisfont b).



Définition 3
Soit E un ensemble de formules et α une formule de CO. α est dérivée (ou déduite) de E ssi tous les modèles M qui satisfont E satisfont également α. On le note $E \models \alpha$.

2.2 Sémantique de CO^*

Dans [2], Boutilier restreint CO pour pouvoir tenir compte de tous les mondes possibles. Il considère donc une classe de modèles de CO dans lesquels chaque valuation propositionnelle est associée à un ou plusieurs mondes possibles.

Cela le conduit à la définition de CO^* qui est la plus petite extension de CO fermée par toutes les règles de CO et qui contient l'axiome suivant :

– $\overleftrightarrow{\Diamond}\, A$ pour toute formule satisfiable A de $PROP$.

Dans toute la suite de l'article, nous utiliserons CO^* au lieu de CO.

2.3 Préférences conditionnelles

Boutilier définit un connecteur conditionnel $I(-|-)$ pour exprimer les préférences conditionnelles :

Définition 4
$I(B|A) \equiv_{def} \overleftrightarrow{\Box}\, \neg A \vee \overleftrightarrow{\Diamond}\, (A \wedge \Box(A \rightarrow B))$

On peut comprendre ceci comme exprimant le fait que « si A est vraie alors un agent doit s'assurer que B ».

Définition 5
Une préférence absolue A *est définie par* $I(A|\top)^4$*, ce qui est équivalent à* $\overleftrightarrow{\Diamond}\,\Box A$*, et est notée* $I(A)$*.*

Pour pouvoir déterminer quels sont ses buts, un agent doit avoir une certaine connaissance du monde réel. Boutilier introduit donc KB, un ensemble fini et consistant de formules de $PROP$, pour pouvoir représenter la connaissance qu'a l'agent du monde qui l'entoure. On appelle KB une base de connaissances. Etant donnés KB et un modèle de CO^*, les situations idéales sont caractérisées par les mondes les plus préférés qui satisfont KB. Ceci est défini de la façon suivante :

Définition 6
Soit Σ *un ensemble de préférences conditionnelles. Soit* KB *une base de connaissances. Un but idéal dérivé de* E *est une formule* α *de* $PROP$ *telle que*[5] *:*

$$\Sigma \models I(\alpha | Cl(KB))$$

On peut remarquer qu'en fait Boutilier utilise dans [3] non pas l'implication classique pour déterminer $Cl(KB)$ mais une logique non monotone pour pouvoir déterminer la connaissance qu'a l'agent du monde. Cette logique non monotone est également fondée sur un ordre sur les mondes et permet de décrire quels sont les mondes les plus « normaux ». Cette approche permet de se rapprocher de la théorie de la décision classique [20] qui considère une fonction d'utilité pour représenter les préférences sur les actions possibles et une fonction de probabilité pour représenter la plausibilité des mondes.

Dans son approche, Boutilier calcule d'abord quel est le monde le plus probable avant d'utiliser celui-ci pour calculer les CK-buts de l'agent. Une certaine priorité est donné au calcul du monde le plus probable par rapport aux préférences de l'agent. On peut remarquer qu'il faudrait normalement tenir compte également de la possibilité que le monde le plus probable ne soit pas le monde actuel.

Dans la suite de ce papier, nous considérerons que $Cl(KB)$ est obtenu par fermeture transitive « classique »pour nous concentrer sur les problèmes de détermination de buts.

---

[4] où $\top$ représente n'importe quelle tautologie propositionnelle
[5] par définition, $Cl(KB) = \{\alpha \in PROP : KB \models \alpha\}$

Exemple 1
Considérons un langage dont les variables propositionnelles sont l *(la porte est laquée) et* p *(la porte est poncée). Soient les deux préférences conditionnelles* $I(l)$ *et* $I(\neg l|\neg p)$ *i.e. l'agent préfére que la porte soit laquée et si elle n'est pas poncée, l'agent préfére que la porte ne soit pas laquée.*

Les mondes possibles sont $w_1 = \{l, p\}$*,* $w_2 = \{\neg l, \neg p\}$*,* $w_3 = \{l, \neg p\}$*,* $w_4 = \{\neg l, p\}$[6]*.*

Du fait de $I(l)$*, les situations* w_1 *et* w_3 *peuvent être les mondes préférés. Mais, à cause de* $I(\neg l|\neg p)$*,* w_3 *ne peut pas être le monde le plus préféré. Donc* w_1 *est le monde le plus préféré et on a* $w_1 \leq w_2$*,* $w_1 \leq w_3$ *et* $w_1 \leq w_4$*. De plus, on ne peut pas avoir* $w_3 \leq w_2$*, car on a* $I(\neg l|\neg p)$*. On a donc* $w_2 \leq w_3$*.* $I(l)$ *et* $I(\neg l|\neg p)$ *ne sont donc satisfaites que par les modèles de* CO^* *suivants :*

$$\begin{array}{lccccccc} M_1 & w_1 & \leq & w_2 & \leq & w_3 & \leq & w_4 \\ M_2 & w_1 & \leq & w_2 & \leq & w_4 & \leq & w_3 \\ M_3 & w_1 & \leq & w_4 & \leq & w_2 & \leq & w_3 \end{array}$$

Supposons que $KB_1 = \{p\}$ *(la porte est poncée). Alors* $Cl(KB_1) = \{p\}$*. Les buts idéaux sont les* α *tels que* $\forall M\ M \models I(\alpha|p)$*.* l *est donc le but idéal de l'agent. Comme la porte est poncée, il préfére qu'elle soit laquée.*

Si maintenant on suppose que $KB_2 = \{\neg p\}$ *(la porte n'est pas poncée), on peut montrer que le but idéal est* $\neg l$ *: comme la porte n'est pas poncée, l'agent préfére qu'elle ne soit pas laquée.*

2.4 Propositions contrôlables, influençables et non-influençables

D'après la définition précédente, toute formule α qui satisfait $M \models I(\alpha|Cl(KB))$ est un but pour l'agent. Comme Boutilier le note, cette définition n'est valable que si KB est « fixé », i.e. que si l'agent ne peut pas changer la valeur de vérité des éléments de KB. Or, il se peut très bien que l'agent puisse changer la valeur de vérité de certains éléments de KB. La définition des buts idéaux donnée précédemment est ainsi trop restrictive. Par exemple, KB_2 exprime le fait que la porte n'est pas poncée. Supposons que l'agent puisse poncer la porte. Dans ce cas, il préfére la poncer pour remplir le but le plus préféré, i.e. laquer la porte.

[6] cette façon de noter les mondes est classique. Ainsi $w_4 = \{\neg l, p\}$ est une notation pour représenter $w_4 \notin \phi(l)$ et $w_4 \in \phi(p)$

Boutilier suggère donc pour calculer la fermeture $Cl(KB)$ de la base de connaissances de ne tenir compte que des formules dont la valeur de vérité ne peut pas être changée par les actions de l'agent.

De plus, il se peut que certaines formules α caractérisées par la définition précédente ne puissent pas être rendues vraies par l'agent. Par exemple, un agent peut préférer qu'il ne pleuve pas, mais c'est quelque chose sur lequel il n'a aucun contrôle.

Pour modéliser ces notions, Boutilier partitionne les atomes de $PROP$ en deux classes : $P = C \cup \overline{C}$. C est l'ensemble des atomes que l'agent peut contrôler (l'agent peut changer la valeur de vérité de ces atomes) et $\overline{C}$ est l'ensemble des atomes que l'agent ne peut pas contrôler.

Par exemple, l'atome r représentant le fait « il pleut » peut être raisonnablement considéré comme incontrôlable (l'agent ne pouvant pas changer la valeur de vérité de cet atome).

Implicitement, Boutilier impose une contrainte sur C : $\forall l \; l \in C \implies \neg l \in C$. Ainsi si un atome est contrôlable, sa négation l'est aussi. Si l'on représente le fait que la porte soit poncée par l'atome p, le fait de dire que l'agent peut poncer la porte (i.e. $p \in C$) implique que l'agent peut également « déponcer » la porte (i.e. $\neg l \in C$). Nous reviendrons sur ce point dans la conclusion.

Boutilier étend ces notions aux propositions, en précisant tout d'abord quelques définitions.

Définition 7
Pour n'importe quel ensemble de variables propositionnelles P, on appelle $V(P)$ l'ensemble des valuations de P. Si $v \in V(P)$ et $w \in V(Q)$ avec P et Q deux ensembles disjoints, alors $v; w \in V(P \cup Q)$ est la valuation étendue à $P \cup Q$. L'élément neutre de ; est $V(\phi)$ qui est la valuation vide.

Définition 8
Soient C et $\overline{C}$ définis comme précédemment. Une proposition α est contrôlable *ssi, pour tout $u \in V(\overline{C})$, il existe $v \in V(C)$ et $w \in V(C)$ tels que $v; u \models \alpha$ et $w; u \models \neg\alpha$*

Une proposition α est influençable *ssi il existe $u \in V(\overline{C})$, il existe $v \in V(C)$ et w tels que $v; u \models \alpha$ et $w; u \models \neg\alpha$*

Ainsi, si $A \in C$, et $B \in \overline{C}$ alors $A \wedge B$ est influençable, mais pas contrôlable. Comme B n'est pas contrôlable, si B est faux, alors l'agent ne peut pas rendre $A \wedge B$ vraie, donc $A \wedge B$ n'est pas contrôlable. Par contre, si

B est vrai, alors l'agent peut changer la valeur de vérité de $A \wedge B$ en rendant A vrai ou faux, donc $A \wedge B$ est influençable.

Définition 9
L'ensemble des croyances non-influençables d'un agent est défini par :

$$UI(KB) = \{\alpha \in Cl(KB) : \alpha \text{ n'est pas influençable}\}$$

Dans un premier temps, Boutilier considère que $UI(KB)$ est un ensemble complet, c'est-à-dire que la valeur de vérité de tous les atomes incontrôlables est connue, ce qui peut se résumer par : $\forall\varphi$ non contrôlable $\varphi \in UI(KB)$ ou $\neg\varphi \in UI(KB)$.

On peut remarquer que Boutilier a étudié le cas où l'agent ne connaît pas la valeur de vérité de tous les atomes non contrôlables de KB. Dans ce cas, on peut choisir deux stratégies de détermination des buts : maximiser le gain potentiel ou minimiser la perte potentielle, ce qui correspond à des critères de decision maximax ou maximin dans le cadre de la théorie de la décision.

Boutilier peut maintenant définir la notion de CK-but :

Définition 10
Soient Σ un ensemble de préférences conditionnelles et KB une base de connaissance telle que $UI(KB)$ soit complet.

Une proposition φ est un CK-but ssi $\Sigma \models I(\varphi|UI(KB))$ avec φ contrôlable.

La définition des CK-buts est très générale. En particulier, si φ est un CK-but alors $\varphi \vee \varphi'$ est un CK-but pour l'agent. Il est donc intéressant pour l'agent de pouvoir déterminer les actions atomiques qui permettent de garantir que tous les CK-buts seront atteints.

Définition 11
Un ensemble d'actions atomiques est un ensemble S d'atomes contrôlables tels que pour n'importe quel CK-but φ, $\Sigma \models (UI(KB) \wedge S) \rightarrow \varphi$.

Exemple 2
Reprenons l'exemple précédent $\Sigma = \{I(l), I(\neg l|\neg p\}$. Supposons que la porte soit poncée et que l'agent n'ait pas les moyens de la « déponcer ». On a donc p qui est incontrôlable et $p \in KB$.

Supposons dans un premier temps que l'agent puisse encore laquer la porte. Dans ce cas l est contrôlable. D'après la définition 10, l est un CK-but dérivé de Σ : l'agent aura pour but de laquer la porte.

Maintenant, supposons qu'il n'y ait plus de laque. Cette fois ci, l est incontrôlable. Toujours d'après la définition 10, l n'est plus un CK-but pour l'agent, ce qui est intuitivement correct, puisque l'agent ne peut pas laquer la porte.

3 EXTENSION AU CAS MULTI-AGENTS

Nous allons maintenant considérer que nous travaillons avec un ensemble $\mathcal{A}$ d'agents. Notons $\mathcal{A} = \{a_1, \ldots, a_n\}$.

Exemple 3

Supposons que nous ayons le scénario suivant qui concerne l'état d'une porte. Nous disposons d'un groupe de deux agents $\{a_1, a_2\}$. Les préférences que nous imposons au groupe sont les suivantes :

- *si la porte est poncée, on préfére que la porte soit laquée mais pas recouverte de papier ;*
- *si la porte n'est pas poncée, on préfére qu'elle soit recouverte de papier, mais pas laquée.*

La modélisation en CO^* de ce scénario est la suivante : $\Sigma = \{I(l \wedge \neg r|p), I(r \wedge \neg l|\neg p)\}$.

Si on reprend le travail de Boutilier, pour pouvoir déterminer les CK-buts du groupe d'agents, il faut connaître les propositions contrôlables par $\mathcal{A}$. La plupart du temps, nous connaissons les atomes contrôlables par chaque agent. Comment alors déterminer les formules contrôlables par le groupe d'agents ? Nous devons donc en premier lieu étendre la notion de contrôlabilité à un groupe d'agents. Nous étendrons également le modèle de l'agent en considérant les engagements des agents. Intuitivement, un agent s'engage à rendre un atome vrai s'il est déterminé à faire une action qui va rendre cet atome vrai.

De plus, nous considérons que les agents du groupe partagent les mêmes connaissances : ils ont les mêmes connaissances sur l'état du monde et connaissent le modèle de chaque agent du groupe. Cela est normal, car on dispose d'une entité centrale gérant le processus de distribution. Sans cette entité, les agents pourraient avoir une représentation différente du monde ou ne pas connaître par exemple les capacités des autres agents.

3.1 Extension de la contrôlabilité

Boutilier sépare les atomes en deux classes : les atomes *contrôlables* par l'agent (les atomes dont il peut changer la valeur de vérité) et les atomes *incontrôlables* par l'agent (ceux dont il ne peut pas changer la valeur de vérité). Nous allons étendre cette proposition au cas multi-agents en introduisant une dichotomie identique à celle de Boutilier pour chaque agent :

Définition 12
Pour chaque agent $a_i \in \mathcal{A}$, on partitionne les atomes en deux classes : C_{a_i} qui représente les atomes qui sont dans le domaine de contrôlabilité de l'agent a_i et $\overline{C}_{a_i}$ qui représente les atomes qui ne sont pas dans le domaine de contrôlabilité de l'agent a_i.

L'extension aux propositions quelconques est la même que celle de Boutilier. Nous allons maintenant énoncer deux hypothèses à propos des domaines de contrôlabilité des agents. La première que nous faisons modélise le fait que tout agent contrôle au moins un atome (hypothèse 1) :

Hypothèse 1
$\forall a_i \in \mathcal{A} \quad C_{a_i} \neq \phi$

La deuxième hypothèse que l'on fait porte sur les domaines de contrôlabilité des agents (hypothèse 2) :

Hypothèse 2
Les domaines de contrôlabilité des agents ne sont pas forcément disjoints.

Il se peut très bien que deux agents différents soient compétents pour réaliser la même action. Ils entrent alors en concurrence.

On peut alors chercher à relier les notions de propositions contrôlables, influençables ou non-influençables par un agent à la notion de proposition contrôlable, influençable ou non-influençable par un groupe d'agents.

Définition 13
Soit $C = \bigcup_{a_i \in \mathcal{A}} C_{a_i}$ et $\overline{C} = PROP - C$. Une proposition α est :

- *contrôlable par le groupe $\mathcal{A}$ ssi pour tout $u \in V(\overline{C})$ il existe $v \in V(C)$ et $w \in V(C)$ tels que $v; u \models \alpha$ et $w; u \models \neg\alpha$;*
- *influençable par le groupe $\mathcal{A}$ ssi il existe $u \in V(\overline{C})$ il existe $v \in V(C)$ et $w \in V(C)$ tels que $v; u \models \alpha$ et $w; u \models \neg\alpha$;*

– *non-influençable ssi α n'est pas influençable.*

Cette définition est une extension directe de la définition 4 du cas mono-agent.

Prenons un exemple : un groupe d'agents $\{a_1, a_2\}$ est tel que p soit contrôlable par a_1 et que r soit contrôlable par a_2. Quelle est la « contrôlabilité » de la proposition $(p \vee q) \wedge (r \vee s)$?

Dans ce cas, on peut dire que $(p \vee q) \wedge (r \vee s)$ n'est pas contrôlable par $\{a_1, a_2\}$. Il suffit de choisir $\phi(q) = \top$ et $\phi(s) = \top$) et alors $(p \vee q) \wedge (r \vee s)$ sera toujours vraie. En revanche, $p \wedge r$ et $p \vee r$ sont contrôlables par $\{a_1, a_2\}$.

3.2 CK-buts du groupe d'agents

Comme nous avons défini la contrôlabilité d'une proposition par le groupe d'agent $\mathcal{A}$, nous pouvons introduire la notion de CK-buts pour $\mathcal{A}$. Il nous faut préciser deux éléments : la définition de KB et celle de $UI(KB)$.

Définition 14
KB *est un ensemble* fini et consistant *de formules propositionnelles.* $UI(KB)$ *est l'ensemble des conséquences de* KB *non-influençables par* $\mathcal{A}$*. Nous considérons que* $UI(KB)$ *est* complet*, i.e. que l'on connait la valeur de vérité des atomes non contrôlables par le groupe*[7].

Définition 15
φ *est un CK-but pour* $\mathcal{A}$ *ssi* $\Sigma \models I(\varphi | UI(KB))$ *avec* φ *contrôlable par* $\mathcal{A}$.

Nous noterons $CKGoal(\mathcal{A})$ *l'ensemble des CK-buts du groupe* $\mathcal{A}$.

Il faut pouvoir maintenant déterminer quelles sont les tâches que chaque agent doit accomplir pour que les buts du groupe soient effectivement réalisés. Reprenons l'exemple 3 : dans le cas où a_1 peut laquer la porte ou la recouvrir de papier et que a_2 peut la poncer, on voit que la tâche de a_1 peut dépendre des *engagements* de a_2 à propos du ponçage de la porte. Si a_2 s'engage à poncer la porte et qu'il peut le faire, a_1 doit la laquer.

[7]on peut remarquer que Boutilier dans [3] étudie également le cas où $UI(KB)$ n'est pas complet

3.3 Les engagements des agents

Etant donné un litéral contrôlable par un agent, celui ci peut exprimer trois positions vis-à-vis de ce litéral :

- l'agent peut exprimer qu'il va faire une action qui va rendre ou garder ce litéral vrai. Nous dirons que l'agent s'engage à réaliser le litéral ;
- l'agent peut exprimer qu'il ne va faire aucune action pouvant rendre ce litéral vrai. Nous dirons que l'agent s'engage à ne pas réaliser le litéral ;
- enfin, il se peut que l'agent n'exprime rien à propos du litéral en question. Nous dirons alors que l'agent ne s'engage ni à réaliser le litéral, ni à ne pas le réaliser.

Pour représenter les engagements de chaque agent a_i, nous allons utiliser trois sous-ensembles de C_{a_i}[8] : Com_{+,a_i}, Com_{-a_i} et P_{a_i}. On les définit de la façon suivante :

- si l est un litéral, si l est contrôlable par a_i et que $l \in Com_{+,a_i}$ cela signifie que « l'agent a_i s'engage à réaliser l » ;
- si l est un litéral, si l est contrôlable par a_i et que $l \in Com_{-,a_i}$ cela signifie que « l'agent a_i s'engage à ne pas réaliser l ».
- $P_{a_i} = C_{a_i} - (Com_{+,a_i} \cup Com_{-,a_i})$ est l'ensemble des litéraux contrôlables par a_i et pour lesquels a_i ne s'engage à rien (i.e. a_i ne s'engage ni à les réaliser, ni à ne pas les réaliser).

Le tableau suivant résume la modélisation que nous proposons des phrases du type « l'agent a_i s'engage à réaliser l » :

Phrase à modéliser	Modélisation
a_i s'engage à réaliser l	$l \in Com_{+,a_i}$
a_i s'engage à ne pas réaliser l	$l \in Com_{-,a_i}$
a_i ne s'engage ni à réaliser l ni à ne pas réaliser l	$l \in P_{a_i}$

Nous imposons tout d'abord deux contraintes sur ces deux ensembles.

Contrainte 1
$\forall a_i \in \mathcal{A}\ \ Com_{+,a_i}$ *est consistant.*

[8] Com vient de Commitment (engagement en anglais)

Contrainte 2
$\forall a_i \in \mathcal{A} \;\; Com_{+,a_i} \cap Com_{-,a_i} = \phi$

Ces deux contraintes expriment une sorte de consistance du modèle de l'agent. La contrainte 1 exprime le fait qu'un agent ne s'engage pas à réaliser l et $\neg l$ à la fois. La contrainte 2 exprime le fait qu'un agent ne peut pas s'engager à la fois à réaliser l et à ne pas réaliser l.

Remarque 1
Les notions précédentes ont été modelisées en logique modale dans [9] en utilisant deux familles d'opérateurs modaux : C_i et E_i, $i \in \{1...n\}$. L'opérateur E_i est l'opérateur stit ([1], [12]). $E_i\phi$ exprime le fait que l'agent i fait en sorte que ϕ soit vraie. Il est défini par l'axiomatique suivante :

$$\begin{array}{rl} (C) & E_i\phi \wedge E_i\psi \rightarrow E_i(\phi \wedge \psi) \\ (T) & E_i\phi \rightarrow \phi \\ (4) & E_i\phi \rightarrow E_iE_i\phi \\ (RE) & \vdash (\phi \leftrightarrow \psi) \implies \vdash (E_i\phi \leftrightarrow E_i\psi) \end{array}$$

L'opérateur C_i est un opérateur de type KD (cf. [5]) et $C_i\phi$ dsignifie que l'agent a_i s'engage à rendre ϕ vraie. Il est défini par l'axiomatique suivante :

$$\begin{array}{rl} (K) & C_i\phi \wedge C_i(\phi \rightarrow \psi) \rightarrow C_i\psi \\ (D) & C_i\neg\phi \rightarrow \neg C_i\phi \\ (Nec) & \dfrac{\vdash \phi}{\vdash C_i\phi} \end{array}$$

Etant donné un atome l et étant donnés ces opérateurs, un agent a_i est confronté à trois positions :
- *C_iE_il : l'agent s'engage à faire en sorte que l soit vrai ;*
- *$C_i\neg E_il$: l'agent s'engage à ne pas faire en sorte que l soit vrai ;*
- *$\neg C_iE_il \wedge \neg C_i\neg E_il$: l'agent ne s'engage ni à faire en sorte que l soit vrai, ni à ne pas faire en sorte que l soit vrai.*

Dans cet article, nous oublions l'axiomatique et nous ne considérons que les trois ensembles d'atomes suivants :
- *Com_{+,a_i} qui correspond à $\{l \; : \; C_iE_il\}$;*
- *Com_{-,a_i} qui correspond à $\{l \; : \; C_i\neg E_il\}$;*

– P_i *qui correspond à* $\{l \ : \ \neg C_i E_i l \wedge \neg C_i \neg E_i l\}$.

On peut vérifier que d'après l'axiomatique précédente qu'on peut dériver le théorème $\vdash \neg(C_i E_i l \wedge C_i E_i \neg l)$*. Ceci explique la contrainte 1. De plus, on peut également dériver* $\vdash \neg(C_i \neg E_i l \wedge C_i E_i l)$*. Ceci explique la contrainte 2.*

Définition 16

Nous appellerons $Com_{+,\mathcal{A}}$ *l'ensemble des engagements « positifs » de tous les agents, soit :*

$$Com_{+,\mathcal{A}} = \bigcup_{a_i \in \mathcal{A}} Com_{+,a_i}$$

Nous appellerons $Com_{-,\mathcal{A}}$ *l'ensemble des engagements « négatifs » des agents :*

$$Com_{-,\mathcal{A}} = \{l \in KB \ : \ \forall a_i \in \mathcal{A} \ l \text{ contrôlable par } a_i \Rightarrow \neg l \in Com_{-,a_i}\}$$

La signification de $Com_{-,\mathcal{A}}$ est donc la suivante : si tous les agents qui peuvent contrôler un litéral l s'engagent à ne pas réaliser l et que $\neg l \in KB$, on considérera que $\neg l$ restera vrai. Cela revient à supposer qu'il n'y a pas d'intervention extérieure.

Une hypothèse que nous allons poser sur les engagements des agents est la suivante :

Hypothèse 3

$$Com_{-,\mathcal{A}} \cup Com_{+,\mathcal{A}} \cup CKGoal(\mathcal{A}) \text{ est consistant.}$$

Poser cette hypothèse permet d'éliminer des cas problématiques comme par exemple :

– le cas où deux agents qui contrôlent l'un l et l'autre $\neg l$ s'engagent l'un à réaliser l et l'autre à réaliser $\neg l$ (i.e. $Com_{+,\mathcal{A}}$ inconsistant) ;
– le cas où un litéral est vrai dans KB et le restera car les agents du groupe qui pouvaient le rendre faux ne s'y sont pas engagés alors que ce litéral contredit les CK-buts du groupe ;
– le cas où les engagements positifs et négatifs des agents contredisent un CK-but du groupe.

Concrétement, si on veut « distribuer » des buts à un groupe d'agents, il faut d'abord vérifier la consistance des engagements des agents avec les CK-buts du groupe. Si la consistance n'est pas vérifiée, les agents doivent revoir leurs engagements. La gestion de conflits éventuels entre les engagements des agents exécutants et les buts du groupe est occultée dans ce travail.

3.4 Buts effectifs d'un agent

Si l'hypothèse 3 est vérifiée, on est sûr que les engagements des agents ne vont pas à l'encontre des CK-buts du groupe. Il reste maintenant à déterminer quels seront les buts effectifs de chaque agent. On ne parle pas ici de CK-but pour chaque agent, car comme on l'a vu précédemment, les buts de chaque agent ne doivent pas dépendre que de $UI(KB)$ (les faits non-contrôlables par $\mathcal{A}$) mais également des engagements des autres agents et de ses propres engagements. Il paraît donc légitime pour un agent $a_i \in \mathcal{A}$ de dériver ses buts effectifs à partir :

- des propositions non-contrôlables par $\mathcal{A}$ de KB, soit $UI(KB)$;
- de l'ensemble des engagements « positifs » des agents, soit $Com_{+,\mathcal{A}}$;
- de l'ensemble des engagements « négatifs » des agents , soit $Com_{-,\mathcal{A}}$.

Nous allons appeler cet ensemble *ensemble de données* et le noter $D(KB)$. Cet ensemble servira en partie *conditionnelle* des préférences pour déterminer les buts effectifs des agents.

Définition 17
On définit :

$$D(KB) = UI(KB) \cup Com_{+,\mathcal{A}} \cup Com_{-,\mathcal{A}}$$

Proposition 1
$D(KB)$ est un ensemble consistant.

Preuve 1
$D(KB) = UI(KB) \cup Com_{+,A} \cup Com_{-,A}$

Or $UI(KB) \subseteq \overline{C}$ et $Com_{+,A} \cup Com_{-,A} \subseteq C$.

Donc $D(KB)$ est consistant ssi $UI(KB)$ est consistant et $Com_{+,A} \cup Com_{-,A}$ est consistant.

Or $UI(KB)$ est consistant car KB est consistante et $Com_{+,A} \cup Com_{-,A}$ est consistant d'après l'hypothèse 3.

Donc $D(KB)$ est consistant.

$\square$.

Nous introduisons maintenant la notion de *but effectif* pour un agent :

Définition 18
φ est un but effectif pour a_i, noté $EGoal_{a_i}(\varphi)$ ssi :

$$\Sigma \models I(\varphi | D(KB)) \text{ et } \varphi \text{ contrôlable par } a_i$$

Comme on utilise l'opérateur $I(-|-)$, on est sûr qu'un *agent n'aura pas de buts contradictoires*. Comme dans le cas mono-agent, on définit un ensemble d'actions atomiques (cette définition est une extension de la définition 11) :

Définition 19
Un ensemble d'actions atomiques pour un agent a_i est un ensemble S_{a_i} d'atomes contrôlables par a_i tel que pour tout φ but effectif de a_i on ait $\Sigma \models (D(KB) \wedge S_{a_i}) \rightarrow \varphi$.

Il est également intéressant de pouvoir définir une notion de *non satisfaction* d'un CK-but φ. Si aucun agent n'a pour but effectif de réaliser une action φ' telle que $\vdash \varphi' \rightarrow \varphi$, alors φ n'est pas remplie.

Définition 20
Soit φ un CK-but de $\mathcal{A}$. On dit que φ n'est pas satisfaite (noté $Nonsat(\varphi)$) ssi :

$$\bigcup_{a_i \in \mathcal{A}} \{\varphi' \ : \ EGoal_{a_i}(\varphi')\} \nvdash \varphi$$

Nous énonçons maintenant quelques propriétés du formalisme.

Proposition 2
Soit l un litéral de $PROP$. Si l est un CK-but de $\mathcal{A}$, alors $\exists a_i \in \mathcal{A}$ tel que l'on a $EGoal_{a_i}(l)$.

Preuve 2
Soit l un CK-but du groupe $\mathcal{A}$. Par définition, on a $\Sigma \models I(l|UI(KB))$ et l est contrôlable par $\mathcal{A}$ (0).

Supposons que l ne soit le but d'aucun agent. On a donc $\forall a_i \in \mathcal{A}\ \Sigma \not\models I(l|D(KB))$ ou l non contrôlable par a_i.

Comme l est un litéral, il existe au moins un agent a_i de $\mathcal{A}$ qui contrôle l. On a donc $\Sigma \not\models I(l|D(KB))$. Donc :

$$\begin{aligned}
& \exists M_0, M_0 \models \Sigma \text{ et } M \not\models I(l|D(KB)) \\
\Longrightarrow \quad & M_0 \not\models \overset{\leftrightarrow}{\Diamond} (D(KB) \wedge \Box(D(KB) \rightarrow l)) \\
\Longrightarrow \quad & \forall w \in W \ \ M_0, w \not\models D(KB) \text{ ou } \exists w' \leq w \ \ M_0, w' \not\models D(KB) \rightarrow l \\
\Longrightarrow \quad & \forall w \in W \ \ M_0, w \models D(KB) \ \ \Rightarrow \ \ \exists w' \leq w \ \ M_0, w' \models D(KB) \wedge \\
& \qquad \neg l \qquad (1)
\end{aligned}$$

(0) implique $\exists w_0 \in W \;\; M_0, w_0 \models UI(KB)$ *et* $\forall w \leq w_0 \;\; M_0, w \models UI(KB) \rightarrow l$.

Donc, puisque $UI(KB) \subseteq D(KB)$ *:*

$$\exists w_0 \in W \;\; M_0, w_0 \models UI(KB) \text{ et } \forall w \leq w_0 \;\; M_0, w \models D(KB) \rightarrow l$$

Soit $w_1 \leq w_0$*. D'après (1) si* $w_1 \models D(KB)$ *alors il existe un* $w' \in W$ *tel que* $w' \leq w_1$ *et* $w' \models D(KB) \wedge \neg l$*. Or* $w' \leq w_0$ *(par transitivité de* $\leq$*) donc* $w' \models D(KB) \rightarrow l$ *ce qui est impossible.*

Donc :

$$\begin{array}{rl} & \forall w \leq w_0 \;\; w \models \neg D(KB) \\ \Longrightarrow & \forall w \leq w_0 \;\; w \models \neg(UI(KB) \wedge (Com_{+,\mathcal{A}} \wedge Com_{-,\mathcal{A}})) \\ \Longrightarrow & \forall w \leq w_0 \;\; w \models UI(KB) \rightarrow \neg(Com_{+,\mathcal{A}} \wedge Com_{-,\mathcal{A}}) \end{array}$$

Or $M_0 \models I(l|UI(KB)$*, donc* $\exists w_2 \in W \;\; M_0, w_2 \models UI(KB)$ *et* $\forall w \leq w_2 \;\; M_0, w \models UI(KB) \rightarrow l$.

Donc $M_0, min_{\leq}(w_0, w_2) \models l \wedge \neg(Com_{+,A} \wedge Com_{-,A}))$*. Ceci falsifie l'hypothèse 3.*

$\Box$.

Cette propriété signifie que si l est un litéral et est un CK-but du groupe d'agent, alors il existe au moins un agent qui aura pour but effectif de réaliser l. Un corollaire immédiat de cette propriété est le suivant :

Corollaire 1
Soit $l_1, \ldots, l_n$ *n litéraux de* $PROP$ *tels que* $l_1 \wedge \ldots \wedge l_n$ *soit un CK-but de* $\mathcal{A}$*. Alors* $\forall i \in \{1, \ldots, n\}$ $\exists a_{l_i} \in \mathcal{A}$ *tel que l'on ait* $EGoal_{a_{l_i}}(l_i)$*.*

Preuve 3
La démonstration est évidente car $\Sigma \models I(l_1 \wedge \ldots \wedge l_n|UI(KB))$ *implique* $\forall i \in \{1...n\}\Sigma \models I(l_i|UI(KB))$ *pour tout ensemble* $\{l_1, \ldots, l_n\}$ *de litéraux.*

Pour tous les CK-buts qui sont des litéraux ou des conjonctions de litéraux, le processus défini précédemment assigne aux agents des buts effectifs tels que ces CK-buts soient atteints.

3.5 Etude d'un exemple

Reprenons l'exemple précédent. On dispose d'un groupe de deux agents $\{a_1, a_2\}$. Les préférences du groupe sont :

- si la porte est poncée, on préfére que la porte soit laquée mais pas recouverte de papier ;
- si la porte n'est pas poncée, on préfére qu'elle soit recouverte de papier mais pas laquée.

La modélisation grâce à CO^* de ce scénario est la suivante : $\Sigma = \{I(l \wedge \neg r|p), I(r \wedge \neg l|\neg p)\}$. Pour chaque modèle de Σ :

- $I(l \wedge \neg r|p)$ signifie qu'il existe un monde vérifiant p et pour lequel tous les mondes préférés vérifient $p \rightarrow l \wedge \neg r$;
- $I(r \wedge \neg l|\neg p)$ signifie qu'il existe un monde vérifiant $\neg p$ et pour lequel tous les mondes préférés vérifient $\neg p \rightarrow r \wedge \neg l$;

Etudions différents scénarios :

1. Supposons que $KB = \{p, \neg l, \neg r\}$ i.e. les agents savent que la porte est poncée, qu'elle n'est ni laquée ni recouverte de papier. Supposons que p soit incontrôlable (i.e. les agents n'ont pas les moyens de faire en sorte que la porte ne soit plus poncée), que $C_{a_1} = \{l\}$ et que $C_{a_2} = \{r\}$ (i.e. l'agent a_1 peut laquer la porte, l'agent a_2 peut la recouvrir).

   Dans ce cas, $UI(KB) = \{p\}$, $l \wedge \neg r$ est un CK-but du groupe[9]. Si les agents ne s'engagent à rien, $D(KB) = \{p\}$, on peut dériver $EGoal_{a_1}(l)$ et $EGoal_2(\neg r)$. L'agent a_1 a donc pour but effectif de laquer la porte et l'agent 2 de ne pas la recouvrir. C'est intuitivement correct.

2. Supposons que $KB = \{p, \neg l, \neg r\}$, que $C_{a_1} = \{l\}$ et que $C_{a_2} = \{p, r\}$. Dans ce cas, $UI(KB) = \phi$ et $(l \wedge \neg r) \vee (\neg l \wedge r)$ est un CK-but du groupe. $D = \phi$, on ne peut pas dériver de buts effectifs pour les agents, car a_2 contrôle p et pourrait donc réaliser $\neg p$. On a donc $Nonsat((l \wedge \neg r) \vee (\neg l \wedge r))$.

   Par contre, si a_2 s'engage à ne pas réaliser $\neg p$, on a alors $Eng_{-}(\{a_1, a_2\} = \{p\}$ et on peut alors dériver $EGoal_{a_1}(l)$, $EGoal_{a_2}(\neg r)$ et $Egoal_{a_2}(p)$. $EGoal_{a_2}(p)$ a alors pour sens : l'agent a_2 doit « conserver » la porte poncée.

[9] c'est en fait le seul qui nous interesse. On peut bien sûr écrire que $(l \wedge \neg r) \vee r$ est un CK-but du groupe.

3. Supposons que $KB = \{\neg p, \neg l, \neg r\}$, que $C_{a_1} = \{l\}$ et que $C_{a_2} = \{p, r\}$. Dans ce cas, $UI(KB) = \phi$ et $(l \wedge \neg r) \vee (\neg l \wedge r)$ est un CK-but du groupe. Supposons de plus que a_2 s'engage à réaliser p, soit $Eng_+(a_2) = \{p\}$. Dans ce cas, $D(KB) = \{p\}$, et on dérive $EGoal_{a_1}(l)$, $EGoal_{a_2}(p)$ et $EGoal_{a_2}(\neg r)$: l'agent a_1 doit laquer la porte, l'agent a_2 doit la poncer et ne pas la recouvrir de papier.
4. Supposons que $KB = \{\neg p, \neg l, \neg r\}$, que $C_{a_1} = \{l\}$ et que $C_{a_2} = \{p, r\}$. Dans ce cas, $UI(KB) = \phi$ et $(l \wedge \neg r) \vee (\neg l \wedge r)$ est un CK-but du groupe. Supposons de plus que a_2 s'engage à ne pas réaliser p soit $Eng_-(a_2) = \{p\}$, alors $D(KB) = \{\neg p\}$ et on peut dériver $EGoal_{a_1}(\neg l)$, $EGoal_{a_2}(\neg p)$ et $EGoal_{a_2}(r)$.
5. Supposons que $KB = \{\neg p, \neg l, \neg r\}$, que $C_{a_1} = \{l\}$ et que $C_{a_2} = \{p, r\}$. a_2 s'engage à réaliser p, donc $Eng_+(a_2) = \{p\}$ et a_1 s'engage à ne pas réaliser l, soit $Eng_-(a_1) = \{l\}$. Dans ce cas, $UI(KB) = \phi$, $Eng_+(\{a_1, a_2\}) = \{p\}$ et $Eng_-(\{a_1, a_2\}) = \{\neg l\}$. $Eng_+(\{a_1, a_2\}) \cup Eng_-(\{a_1, a_2\}) \cup \{p \rightarrow l\}$ est inconsistant. Or $p \rightarrow l$ est un CK-but de $\{a_1, a_2\}$, donc l'hypothèse 3 n'est pas vérifiée. a_1 et a_2 doivent revoir leurs engagements.

On remarquera que nous n'utilisons pas ici les ensembles de buts atomiques des agents, car les buts effectifs des agents sont assez simples.

4 Conclusion

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés au problème de déterminer, à partir des buts assignés à un groupe d'agents et d'une représentation des agents, les buts individuels de chaque agent du groupe.

Pour cela, en nous basant sur un travail de Boutilier, nous avons proposé un formalisme qui permet à partir de préférences conditionnelles représentant un ensemble de buts à atteindre pour un groupe d'agents, des connaissances des agents sur le monde réel, des ensembles de variables contrôlables par chaque agent et de leurs engagements, de déterminer les propositions contrôlables par le groupe d'agents, les CK-buts du groupe d'agents et enfin les buts effectifs de chaque agent.

Nous avons dû auparavant étendre les notions de variables contrôlables par un agent et de CK-buts d'un agent aux notions de variables contrôlables par un groupe d'agents et de CK-buts d'un groupe d'agents.

Ce travail peut être étendu dans de nombreuses directions.

Tout d'abord, on peut remarquer que d'après la définition donnée aux buts effectifs d'un agent, il peut arriver que deux agents aient un ou plusieurs buts effectifs communs. Supposons par exemple qu'on affecte à un groupe d'agents $\{a_1, a_2\}$ une préférence conditionnelle $I(a)$ et que $C_{a_1} = C_{a_2} = \{a\}$. Si $UI(KB) = \phi$ alors par le processus d'allocation de buts décrit dans cet article, les deux agents vont avoir pour but effectif de réaliser a. Autrement dit, dans ce cas, a_1 et a_2 ont tous deux le but de faire que a. Or, chacun d'entre eux peut faire en sorte que a soit vrai. Cette allocation de buts n'est donc pas optimale puisqu'elle assigne aux deux agents une tâche qu'un seul peut réaliser.

Une façon de résoudre ce problème est de prendre en compte une relation d'ordre entre les agents qui peut refléter, suivant l'application, leur compétence relative, leurs besoins en ressources, leurs disponibilités etc. Un but ne serait alors attribué qu'aux éléments minimaux de cette relation. Ainsi dans l'exemple précédent, la prise en compte dans le processus d'allocation de buts du fait que a_1 est préféré à a_2 (car a_1 est plus compétent que a_2 pour réaliser a) devrait conduire à n'attribuer le but a qu'à a_1.

L'ébauche d'une solution a été proposée dans [9] et dans [8]. Nous avons récemment de travaillé sur la notion de « stratégie » afin d'optimiser l'allocation de buts individuels [10]. Intuitivement, une stratégie est une fonction qui associe toute variable propositionnelle à un ordre sur les agents du groupe. L'idée est alors d'allouer des buts individuels aux agents minimaux pour cet ordre. Evidemment, une stratégie peut être obtenue par agrégation de plusieurs stratégies. Par exemple, si l'on veut prendre en compte à la fois la compétence des agents et leurs engagements, on peut ordonner les agents en considérant que la compétence est plus importante que leurs engagements (ainsi donc, un agent sera préféré à un autre s'il est plus compétent que lui pour rendre une proposition vraie, même s'il ne s'est pas engagé à la rendre vraie) ou en considérant que les engagements sont plus importants que la compétence (ainsi, un agent sera préféré à un autre s'il s'est engagé à rendre cette proposition vraie, même s'il n'est pas plus compétent pour le faire).

En ce qui concerne le modèle des agents, il serait intéressant de comparer la notion d'engagement définie ici avec la notion de variable « contrôlable fixée » introduite dans [6]. Dans cet article, nous avons montré comment le formalisme initial de Boutilier pouvait être adapté pour raisonner avec des notions déontiques et plus particuliérement avec des Contrary-to-Duties. Le modèle d'action de l'agent a été étendu pour traiter raisonnablement ce problème en faisant apparaître deux types de variables contrôlables que nous avons appelé (suite à la terminologie de Carmo et Jones dans [4]) « contrôlable fixé » et « contrôlable non fixé », les premières étant des variables que l'agent peut contrôler, mais dont il a décidé de ne pas changer la valeur de vérité.

Enfin, en ce qui concerne la notion de contrôlabilité, reprise du travail de Boutilier, il faut remarquer qu'elle a une grande faiblesse car, par définition, si un atome l est contrôlable par un agent, alors $\neg l$ l'est également. Ceci est très criticable car être capable de rendre l vraie n'implique pas nécessairement être capable de rendre l faux. Dans l'exemple de la section 4, si un agent est capable de poncer la porte (c.a.d, p est contrôlable par cet agent) alors il est également capable de faire que la porte ne soit plus poncée (puisque par définition $\neg p$ est également contrôlable). Nous avons récemment travaillé sur un modèle plus fin de la notion de contrôlabilité dans lequel un agent peut contôler un atome sans nécessairement contrôler sa négation [10]. Une extension de ce modèle serait de prendre en compte le fait que certains atomes sont contrôlables non pas par un seul agent mais par une coalition d'agents [17]. Ainsi, par exemple, aucun agent ne peut à lui seul soulever une porte, mais deux agents peuvent le faire. Un premier travail dans le cadre de la logique déontique utilisant cette approche a été fait dans [7].

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Jérôme Lang pour une discussion fructueuse sur ce travail.

RÉFÉRENCES

[1] N. Belnap et M. Perloff. Seeing to it that : a canonical form for agentives. *Theoria*, 54 :175–199, 1988.

[2] C. Boutilier. Conditional logics of normality : a modal approach. *Artificial Intelligence*, 68 :87–154, 1994.

[3] C. Boutilier. Toward a logic for qualitative decision theory. In *Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'94)*. J. Doyle, E. Sandewall and P. Torasso Editors, 1994.

[4] J. Carmo et A. Jones. Deontic logic and contrary-to-duties. In *Handbook of Philosophical Logic*, 1996.

[5] B.F. Chellas. *Modal logic. An introduction*. Cambridge University Press, 1980.

[6] L. Cholvy et C. Garion. An attempt to adapt a logic of conditional preferences for reasoning with contrary-to-duties. *Fundamenta Informaticae*, 48(2,3) :183–204, november 2001.

[7] L. Cholvy et C. Garion. Collective obligations, commitments and individual obligations. In *Proceedings of the* 6^{th} *International Workshop on Deontic Logic In Computer Science (*Δ*EON'02)*, pages 55–71, Londres, may 2002.

[8] L. Cholvy et C. Garion. Définition de stratégies de distribution de buts individuels à un groupe d'agents. Technical report, ONERA-Toulouse, 2002. in French.

[9] C. Garion. Distributions des exigences : Un problème de calcul de buts individuels en fonction de buts collectifs. In M. Ayel et J.-M. Fouet, éditeurs, *Actes des Cinquièmes Rencontres Nationales des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle*, pages 159–173, Lyon, Septembre 2000.

[10] C. Garion. *Apports de la logique mathématique en ingénierie des exigences*. PhD thesis, École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, 2002.

[11] B.J. Grosz, L. Hunsberger et S. Kraus. Planning and acting together. *AI Magazine*, 20(4) :23–34, 1999.

[12] J.F. Horty et N. Belnap. The deliberative stit : a study of action, omission, ability and obligation. *Journal of Philosophical Logic*, 24 :583–644, 1995. Reprinted in *The Philosopher's Annual, Volume 18-1995*, Ridgeview Publishing Company, 1997.

[13] S. Kraus. Beliefs, time and incomplete information in multiple encounter negociations among autonomous agents. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 7(1) :109–156, 1996.

[14] S. Kraus. Negociation and cooperation in multi-agent environments. *Artificial Intelligence Journal - Special Issue on Economic Principles of Multi-Agent Systems*, 94(1-2) :79–98, 1997.

[15] C. Lafage et J. Lang. Logical representation of preferences for group decision making. In A.G. Cohn, F. Giunchiglia et B. Salman, éditeurs, *Proceedings of the Seventh International Conference KR 2000*, pages 457–468, Beckenridge, Colorado (USA), 2000.

[16] J.-J.Ch. Meyer, W. van der Hoek et B. van Linder. A logical approach to the dynamics of commitments. *Artificial Intelligence*, 113(1-2) :1–40, Septembre 1999.

[17] O. Shehory et S. Kraus. Methods for task allocation via agent coalition formation. *Artificial Intelligence*, 101(1-2) :165–200, 1998.

[18] M.P. Singh. *Multiagent Systems. A Theoretical Framework for Intentions, Know-How and Communications*, volume 799 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Spinger-Verlag, 1994.

[19] M.P. Singh, A.S Rao et M.P. Georgeff. Formal methods in DAI : Logic-based representation and reasoning. In G. Weiss, éditeur, *Multiagent Systems : A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, chapitre 8, pages 331–376. MIT Press, 1999.

[20] J. von Neumann et O. Morgenstern. *Theory of Games and Economic Behaviour*. Princeton University Press, 1947.

[21] M.J. Wooldridge et N.R. Jennings. Agent theories, architectures, and languages : a survey. In M.J. Wooldridge et N.R. Jennings, éditeurs, *Intelligent Agents : proceedings of the ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, volume 890 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 1–25. Springer-Verlag, 1994.