Notion de capacité dans un contexte multi-agents : une modélisation dans le calcul des situations

Laurence Cholvy* cholvy@cert.fr
Christophe Garion† garion@supaero.fr
Claire Saurel* saurel@cert.fr

* ONERA Centre de Toulouse
2 avenue Édouard Belin
31055 Toulouse

† SUPAERO
10 avenue Édouard Belin
31055 Toulouse

Résumé :
Dans cet article, nous étudions la notion de capacité et en particulier sa relation à la notion d'actions, dans un contexte multi-agents. Après avoir proposé une définition informelle de la notion de capacité, nous en proposons une modélisation dans le calcul des situations.

Mots-clés : Capacités, actions, multi-agents, calcul des situations

Abstract:
In this paper, we study the notion of ability and its relation with the notion of action in a multi-agent context. The main contribution of this work is a modelisation of the notion of ability in the situation calculus formalism.

Keywords: Ability, actions, multi-agents, situation calculus

1 Introduction

Les problèmes d'allocation de tâches à des agents [3] ou plus généralement les problèmes de planification dans un contexte multi-agents[8], nécessitent de prendre en compte les capacités des agents (c'est à dire « ce qu'ils sont capables de faire »), afin de ne pas assigner une tâche à un agent dont on peut savoir a priori qu'il sera incapable de la réaliser le moment venu.

La principale question qui se pose alors est de savoir quels sont les paramètres définissant la notion de capacité. S'il est clair qu'un des paramètres est l'agent lui-même[1], on peut s'interroger sur la nature de ce sur quoi porte une capacité : porte-t-elle sur une action ou sur un état du monde ? Par exemple, lorsque l'on dit que « Jean peut peindre la porte », on peut considérer deux interprétations :
– soit cela signifie que Jean peut réaliser l'action qui consiste à peindre la porte ;
– soit cela signifie que Jean peut faire en sorte que la porte soit peinte (par exemple, Jean est capable de faire en sorte que la porte soit peinte parce qu'il peut déléguer ce travail à d'autres personnes).

Le problème de modélisation de la capacité renvoie donc à un autre problème : comment modéliser la notion d'action ?

Historiquement, il existe deux grandes approches à la théorie de l'action. La première approche consiste à donner, dans le langage, des moyens de parler explicitement des actions. C'est le cas par exemple de la logique dynamique [9], qui offre des opérateurs modaux pour parler de l'exécution d'une action, voire de l'exécution d'une action par un agent. C'est le cas également du calcul des situations [14, 17], formalisme qui permet non seulement de représenter les actions, mais également les situations comme résultats d'application d'une action dans une situation à partir d'une situation initiale. Dans la deuxième approche par contre, les langages ne permettent pas de raisonner explicitement sur les actions. Les principaux opérateurs permettent seulement d'exprimer que l'agent fait en sorte qu'une propriété soit vérifiée (cf. l'opérateur *stit* pour *seeing to it that* [11] ou la notion d'*agency* dans [7]). Ainsi, si dans la première approche, on peut parler explicitement de l'action qui consiste à « peindre une porte » et raisonner sur l'exécution de cette action (pour en définir les résultats, comme par exemple : une fois que cette action est réalisée, la porte est peinte), dans la deuxième approche, on ne raisonnera plus sur le fait qu'un agent « peigne une porte », mais sur le fait qu'il « fait en sorte que la porte soit peinte ».

Comme la notion de capacité est très fortement liée, voire dépend de la notion d'action, elle a été étudiée selon ces deux approches.

Par exemple, le formalisme KARO [20] vise à définir la notion de capacité d'un agent à réaliser une action et s'appuie donc sur la première approche précédemment citée. Pour cela, il re-

[1] On peut également considérer plusieurs agents, nous y reviendrons plus loin.

pose sur une logique propositionnelle multimodale, et emprunte des constructeurs de la logique dynamique. Les notions primitives sont les concepts de connaissances de l'agent, capacité de l'agent à réaliser une action, résultat de la réalisation d'une action par l'agent et opportunité associée à une action (la capacité et l'opportunité relatives à une action sont deux notions interconnectées, nous y reviendrons dans ce qui suit).

En ce qui concerne la deuxième approche de la théorie de l'action, la notion de capacité qui est définie ne porte plus sur des actions simples ou complexes, mais sur la capacité de l'agent à faire en sorte qu'une propriété soit vraie [10, 7]. Ces deux formalismes utilisent des logiques modales propositionnelles. Elgesem définit dans [7] la capacité et l'action comme des notions primitives. Il considère une fonction f qui permet de déterminer pour un monde donné w et un but donné φ quels sont les mondes dans lesquels l'agent aura exercé sa capacité à faire en sorte que φ soit vrai à partir de w. Pour qu'un agent soit capable de faire en sorte que φ soit vrai, il faut et il suffit que l'ensemble de mondes $f(w, \varphi)$ soit non vide. Cette définition lui permet de relier la capacité à l'action qui est définie également grâce à f : par exemple, si un agent fait en sorte que A soit vraie, c'est qu'il en a la capacité. Il obtient ainsi une logique multimodale de l'*agency* qui possède de bonnes propriétés (cf. [7] pour plus de détails).

Horty quant à lui utilise des modèles temporels ramifiés [18] pour représenter l'action. Un agent fait en sorte que φ soit vraie à un moment m s'il restreint les « histoires » passant par m pour que φ soit garantie. La capacité pour l'agent de faire en sorte que φ soit vraie est alors définie comme étant la possibilité (au sens classique de la logique modale [2]) pour l'agent de faire en sorte que φ soit vraie. Il est à noter que dans ce formalisme, Horty évite bon nombre de paradoxes. Ainsi, on ne peut pas déduire que si φ est vraie, l'agent a la capacité de faire en sorte que φ soit vraie.

Il faut également mentionner les travaux de Lespérance et al. [12], qui, tout en se plaçant dans le calcul des situations, s'intéressent à la modélisation de la notion de « capacité à atteindre un but », c'est à dire la « capacité de rendre une proposition vraie ». Dans un contexte monoagent, deux définitions sont proposées pour la notion de capacité. Selon la première définition, la plus simple à utiliser selon les auteurs, l'agent a la capacité, dans une situation s, de faire que φ soit vraie (autrement dit l'agent peut atteindre le but φ) s'il existe une suite d'actions dont l'agent sait, dans s, qu'il peut atteindre un état où φ est vraie en exécutant ces actions.

Ce rapide état de l'art montre qu'il n'y pas de consensus sur ce sur quoi porte la capacité. Cependant, indépendamment de ces divergences, il existe dans la littérature un certain nombre de points plus ou moins consensuels relatifs à la notion de capacité.

Ainsi, il est évident que la notion de capacité ne doit pas être confondue avec la notion de possibilité, ni avec la notion de permission [19]. Ces confusions possibles sont dues aux ambiguïtés du langage naturel. Ainsi, la phrase « je peux ouvrir la porte » peut vouloir dire « je suis capable d'ouvrir la porte » (c'est à dire j'ai les moyens physiques et intellectuelles pour ouvrir la porte). Mais elle peut également vouloir dire « l'occasion fait qu'il m'est maintenant possible d'ouvrir la porte » (par exemple, la porte est déverrouillée), mais ceci ne sous-entend pas du tout que j'en suis capable. Enfin, elle peut vouloir dire « j'ai la permission d'ouvrir la porte », ce qui n'implique pas non plus que j'en sois capable.

Il est également admis que l'on doive distinguer deux types de capacité [19, 20, 6, 1].

On peut distinguer tout d'abord ce qui est appelé « capacité générique » par certains (ou « capacité » par d'autres) et qui fait référence aux compétences de l'agent pour réaliser une action dans des conditions normales. Ainsi, « je peux ouvrir la porte » dès lors que je connais les gestes qu'il faut faire pour ouvrir la porte, et ce indépendamment de mon état intellectuel ou physique et indépendamment de l'état exact du monde. On peut ensuite distinguer ce que certains appellent « capacité occasionnelle » (ou « possibilité pratique » ou encore « opportunité d'exercer une capacité » par d'autres) et qui fait référence cette fois-ci à la situation exacte dans laquelle on se pose le problème de définir cette capacité. Ainsi « je peux ouvrir la porte » signifie selon cette deuxième notion, que non seulement « je peux ouvrir la porte » au sens précédent de capacité générique, mais que la situation courante est telle que les conditions sont réunies pour que je puisse exercer cette capacité (par exemple, la porte n'est pas bloquée et je n'ai pas les deux bras dans le plâtre).

Enfin, dans un contexte multi-agents, un problème incontournable est celui qui consiste à définir la notion de capacité relativement à un groupe d'agents, et en particulier, comment inférer la capacité d'un groupe à partir des capacités des agents individuels qui le constituent. Par exemple, à quelles conditions peut-on dire qu'un groupe est capable de peindre la porte, ou est capable de poncer la porte puis de la peindre ? Ce problème n'est pas trivial car la notion de capacité appelée « occasionnelle » ci-dessus, qui nous semble la plus pertinente, est une notion dynamique qui dépend de l'état du monde au moment où on la calcule. Or dans un contexte multi-agents, la dynamique du monde est plus difficile à prévoir du fait qu'il y a plusieurs agents qui peuvent modifier l'environnement.

La définition de la capacité dans un groupe d'agents est le sujet principal de cet article. Notons qu'à notre connaissance, il n'existe pas de travaux qui se sont posés cette même question. En particulier, il faut noter que la notion de capacité que nous cherchons à modéliser est différente de celle que Pauly a étudiée [16]. En effet, dans son travail, « un agent (ou un groupe d'agents) peut faire que quelque chose soit vraie » signifie que cet agent (ou ce groupe) a une stratégie efficace qui garantit, quoi que fassent les autres agents, que cette propriété sera vraie. En particulier, la logique définie par Pauly écarte le cas où un premier agent est capable de faire que la porte soit ouverte et un deuxième agent est capable de faire qu'elle ne soit pas ouverte.

Notre article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous discutons informellement de quelques exigences relatives à la notion de capacité. La section 3 propose ensuite une modélisation formelle des différents concepts relatifs à la capacité dans le calcul des situations dont nous justifions l'utilisation. Quelques propriétés de cette modélisation sont données dans la section 4, et un exemple est décrit dans la section 5. La section 6 est consacrée à une discussion et décrit en particulier quelques perspectives de travail.

2 Modélisation informelle de la notion de capacité

Nos choix de modélisation reposent sur les deux paradigmes suivants :

- d'une part, nous centrons notre modélisation autour de la notion d'action. Nous devrons donc pouvoir raisonner explicitement sur les actions ;
- d'autre part, suivant [6], nous définissons la capacité d'un agent à réaliser une action comme résultant de l'association de ses compétences et de conditions favorables lui permettant de réaliser cette action. Nous distinguerons les conditions relatives à l'agent de celles relatives au monde et valables pour tous les agents, en introduisant la notion intermédiaire de capacité théorique.

Nous avons choisi de modéliser la phrase « l'agent a (ou le groupe d'agents A) est capable de réaliser l'action α » plutôt que « l'agent a (ou le groupe d'agents A) est capable de faire que l'état du monde où α a été réalisée soit atteint ». En effet, comme nous nous intéressons au problème d'allocation de tâches à des agents, nous souhaitons manipuler explicitement la notion d'action et en particulier les notions de composition d'actions, comme la séquence ou l'itération, et éventuellement de durées des actions.

Nous considérerons le cas général où la réalisation de certaines actions primitives nécessite plusieurs agents : par exemple, soulever un objet lourd est une action qui nécessite deux acteurs. Un groupe d'agents sera représenté par un ensemble d'agents et en particulier, l'agent a sera représenté par le singleton $\{a\}$.

2.1 Modèle d'action

Dans notre modèle d'action, à toute action primitive sera associée la liste des préconditions nécessaires à l'exécution de l'action, indépendamment des agents qui vont la réaliser. Ces préconditions définissent les conditions nécessaires à la réalisation de l'action [17] et lorsqu'elles sont réunies, on dira que l'action est possible. Par exemple, l'action de « poncer » n'est possible que si une ponceuse est disponible.

2.2 Définition de la capacité

La notion de capacité que nous définissons ici n'est pas une notion primitive comme dans [7]. Elle est définie à partir d'une notion primitive, la *compétence*, et ne peut être exercée que lorsque certaines conditions particulières sont vérifiées. En particulier, nous distinguons la capacité *théorique* pour un agent à réaliser une action qui ne dépend que des propriétés propres à l'agent, de la capacité à réaliser cette action dans un état de l'environnement donné. Nous expliquons dans ce qui suit ces distinctions.

Compétence. La notion de compétence est considérée ici comme primitive. Elle représente la connaissance par l'agent (ou les agents) d'une pratique relative à l'exécution de l'action. Cette connaissance, ou savoir-faire, peut être innée, mais elle résulte en général d'une phase d'apprentissage. Ainsi, dire que « Jean est compétent pour peindre » sous-entend que Jean sait ce qu'il faut faire pour peindre (i.e. il connaît la succession de gestes à faire pour peindre). Dire que « Jean et Pierre sont compétents pour soulever ensemble un piano » sous-entend que Jean et Pierre savent ce qu'il leur faut faire pour soulever un piano.

Considérer que la compétence est une notion primitive revient donc à considérer comme données des phrases comme : « l'agent a est compétent pour réaliser l'action α ».

Par hypothèse, nous considérons de plus que les compétences des agents sont pérennes[2]. Cette hypothèse est justifiée dès lors que l'on s'intéresse à un horizon temporel assez restreint.

On notera que cette notion de compétence est différente de celle que Cohen et Levesque considèrent dans [5], où, si un agent compétent pour une proposition p croit p, alors p est vraie.

Capacité théorique. À partir de la notion de compétence d'un agent ou d'un groupe d'agents à réaliser une action, nous définissons tout d'abord la notion de capacité théorique[3].

Définition 1 *Soit A un groupe d'agents non vide et α une action. A est théoriquement capable de réaliser α ssi :*

1. *A est compétent pour réaliser α*
2. *certaines conditions portant sur les agents de A sont réunies.*

Par exemple, pour qu'un agent humain soit théoriquement capable de poncer, il faut qu'il soit compétent pour poncer et qu'il ne soit pas fatigué. Par contre, on pourrait considérer un robot pour qui la propriété « fatigué » ne s'applique pas, mais pour qui la propriété « en état de marche » devrait être vérifié afin qu'il soit compétent théoriquement pour poncer. On peut remarquer que cette notion de capacité théorique est très proche de la notion d'*ability* proposée dans [20].

Capacité. La notion de capacité est alors définie en référence au modèle d'action et plus précisément aux conditions qui définissent la possibilité d'exécuter l'action.

Définition 2 *Soient A un groupe d'agents non vide et α une action. A est capable de réaliser α ssi :*

1. *A est théoriquement capable de réaliser α*
2. *α est possible.*

Par exemple, pour qu'un agent soit (réellement) capable de poncer, il faut non seulement qu'il soit compétent pour poncer, qu'il ne soit pas fatigué, mais il faut également qu'il dispose d'une ponceuse. Cette capacité est une capacité « occasionnelle » au sens présenté en section 1, car elle prend en compte les préconditions de l'action considérée.

Notons que la distinction entre les conditions favorables spécifiques à l'agent et celles portant sur l'environnement (représentées par des préconditions) permet une représentation plus compacte des informations participant à la description des capacités des agents. Ainsi, dans le cas d'une action réalisable par différents types d'agents, les conditions sur l'environnement indépendantes des agents ne sont énoncées qu'une seule fois.

On peut également remarquer que la condition « α est possible » est très proche de la notion d'« opportunité d'exercer une capacité » mentionnée dans [6], ainsi que de celle proposée dans [20]. On peut dire que dans notre approche, un agent est capable d'exécuter une action s'il a l'opportunité d'exercer sa capacité théorique à réaliser l'action.

2.3 Extensions

Dans un contexte de planification multi-agents, il est nécessaire d'étendre cette modélisation de la capacité d'un agent à réaliser une action primitive selon deux axes : la composition d'actions, et la dérivation de capacités pour un groupe d'agents à partir des capacités des sous-groupes de ce groupe.

[2] Nous reviendrons sur cette hypothèse dans la section 6

[3] Rappelons qu'un agent seul est assimilé à un groupe d'agents réduit à un singleton.

Actions composées. Dans un premier temps, nous nous intéressons à un type de composition d'actions : la séquence. Cela permet par exemple de considérer l'action « soulever la porte, puis la poncer, puis la peindre ».

Nous aimerions valider l'assertion suivante (cf. [20]) : l'agent a est capable de faire la séquence α puis β si a est capable de faire α et après que a ait fait α, a est capable de faire β.

Par exemple, supposons que poncer la porte soit une action qui fatigue l'agent qui l'exécute. On aimerait alors dériver que l'agent particulier Jean n'est pas capable de réaliser l'action composée « poncer puis peindre ». En effet, même s'il est capable de poncer, une fois qu'il aura poncé il sera fatigué et donc il ne sera plus capable de peindre.

Dérivation des capacités d'un groupe d'agents. On dira qu'un groupe d'agents est capable de réaliser une action primitive dès lors qu'un de ses sous-groupes (éventuellement réduit à un singleton) est capable de réaliser cette action. Par exemple, le groupe {Jean, Pierre, Paul} est capable de soulever la porte si le groupe {Jean, Pierre} en est capable.

Dans le cas des actions composées par la séquence, on dira qu'un groupe d'agents est capable de réaliser α puis β dès lors qu'un de ses sous-groupes (éventuellement réduit à un singleton) est capable de réaliser α et que, une fois que ce sous-groupe a réalisé α, le groupe est alors encore capable de réaliser β.

Par exemple, en supposant qu'il y ait une ponceuse, qu'il y ait de la peinture, que les agents Jean et Pierre ne soient pas fatigués et que Jean soit compétent pour poncer la porte et que Pierre soit compétent pour la peindre, alors le groupe {Jean, Pierre} est capable de réaliser la séquence « poncer puis peindre ». En effet, Jean est capable de poncer la porte et une fois qu'il l'aura poncée, Pierre sera capable de la peindre.

3 Modélisation de la notion de capacité dans le calcul des situations

3.1 Choix du formalisme

Nous proposons d'utiliser le calcul des situations pour modéliser ces notions. En effet, un des problèmes incontournables pour la planification d'actions ou la distribution de tâches est d'exprimer les lois d'actions, i.e. dire ce qui change dans le monde après qu'un agent ait fait une action. Il faut en particulier pouvoir régler le *frame problem* : comment, de façon simple, représenter ce qui ne change pas dans le monde après qu'un agent ait réalisé une action [14]. Reiter a défini une solution simple et élégante au *frame problem* dans le cadre du calcul des situations. Nous allons donc nous appuyer sur ce formalisme pour modéliser les actions et les capacités des agents.

3.2 Modélisation

Nous considérons le langage du premier ordre $\mathcal{L}_{CS}$ du calcul des situations [14] qui va nous permettre de modéliser et de raisonner sur les actions et les capacités. Dans ce langage, les changements du monde sont le résultat d'*actions*. Une séquence d'actions est un terme du premier ordre appelé *situation*. Nous rappelons brièvement ici les composantes de $\mathcal{L}_{CS}$ et nous présentons les extensions que nous y ajoutons :

- un ensemble d'agents A ;
- un ensemble de fonctions et de constantes du premier ordre pour représenter les actions primitives, paramétrées ou non. Par exemple, le terme *peindre*(x) représente l'action « peindre l'objet x » ;
- une fonction binaire ; qui permet de représenter la séquence d'actions. *poncer*(x); *peindre*(x) représente l'action qui consiste d'abord à poncer l'objet x puis à le peindre ;
- un terme constant *nop* qui représente l'action qui consiste à ne rien faire ;
- un terme constant S_0 qui représente la situation initiale ;
- une fonction ternaire *do*. *do*$(\{a\},$ *peindre*$(x), s)$ représente la situation suivant la situation s après que l'agent a ait peint l'objet x. Par rapport au calcul des situations « classique », ici nous paramétrons la fonction *do* par l'agent ou le groupe d'agents qui réalise l'action ;
- un ensemble de prédicats, appelés *fluents* relationnels, qui représentent des propriétés qui peuvent changer après l'exécution d'actions. Le dernier argument d'un *fluent* est toujours une situation. Par exemple, *peinte*(*porte*, S_0) représente le fait que la porte est peinte dans la situation S_0.
- un *fluent* binaire particulier, *competent*, qui permet de représenter qu'un groupe d'agents est compétent pour réaliser une action. Par

exemple, *competent*$(\{a\}$, *peindre(porte)*, $s)$ représente le fait que l'agent a est compétent pour peindre la porte dans la situation s ;
- un *fluent* binaire particulier, *able_t* qui représente le fait qu'un groupe d'agents est capable théoriquement (cf. section 2.2) de réaliser une action ;
- un *fluent* binaire particulier, *able* qui représente le fait qu'un groupe d'agents est capable (cf. section 2.2) de réaliser une action.

Dans un premier temps, l'état initial du monde doit être représenté dans la situation initiale S_0. Pour cela, on définit un ensemble d'axiomes de la forme

$$f(\ldots, S_0) \tag{1}$$

où f est un fluent instancié.

Dans un second temps, il faut représenter les lois d'actions. En particulier, il faut pouvoir représenter les préconditions et les postconditions pour chaque action élémentaire ou primitive. Pour toute action primitive α, on considérera l'axiome

$$\textit{primitive\_action}(\alpha) \tag{2}$$

qui va nous permettre de distinguer les actions primitives des actions composées. On exprimera ensuite les préconditions de cette action primitive par un axiome du type :

$$\forall S\ \textit{pre}(\alpha, S) \rightarrow \textit{Poss}(\alpha, S) \tag{3}$$

où $\textit{pre}(\alpha, S)$ liste les préconditions nécessaires[4] à la réalisation de l'action α dans une situation S quelconque.

De la même façon, nous pouvons définir les préconditions d'une séquence d'actions en utilisant les deux axiomes suivants (α est une action primitive et β peut être une action complexe) :

$$\forall S\ \ \textit{Poss}(\textit{nop}, S) \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \forall S \forall G \forall \alpha \forall \beta\ \ & \textit{Poss}(\alpha, S) \wedge \textit{Poss}(\beta, \textit{do}(G, \alpha, S)) \\ & \rightarrow \textit{Poss}(\alpha; \beta, S) \end{aligned} \tag{5}$$

[4] On ne demande pas des conditions nécessaires et suffisantes pour éviter le problème de la qualification [15]

L'axiome (4) nous indique que l'action *nop* qui ne consiste à rien faire est possible dans toutes les situations. L'axiome (5) nous indique que si α est possible dans la situation S et que β est possible dans la situation dans laquelle on se trouve après que α ait été réalisée dans S, alors la séquence $\alpha; \beta$ est possible dans S.

Pour pouvoir résoudre le *frame problem*, nous utilisons la technique proposée par Reiter [17]. Pour chaque *fluent* $f(t_1, \ldots, t_n)$, on va écrire un axiome d'état successeur qui va indiquer quelles sont les actions qui changent la valeur de ce *fluent*.

$$\begin{aligned} \forall S \forall G \forall \alpha\ \ & \textit{Poss}(\alpha, S) \rightarrow \\ & [f(t_1, \ldots, t_n, do(G, \alpha, S)) \\ & \leftrightarrow \gamma_f^+(t_1, \ldots, t_n, \alpha, S) \\ & \vee (f(t_1, \ldots, t_n, S) \\ & \quad \wedge \neg \gamma_f^-(t_1, \ldots, t_n, \alpha, S))] \end{aligned} \tag{6}$$

où $\gamma_f^+(t_1, \ldots, t_n, \alpha, S)$ représente les conditions conduisant à rendre f vrai après l'exécution de l'action α dans la situation S. $\gamma_f^-(t_1, \ldots, t_n, \alpha, S)$ représente les conditions conduisant à rendre f faux après l'exécution de l'action α dans la situation S. Par exemple, pour le fluent *peint(x,y)* qui représente le fait qu'un objet x soit peint dans une couleur y, on pourrait exprimer l'axiome d'état successeur suivant :

$$\begin{aligned} \forall S \forall G \forall \alpha\ \ & \textit{Poss}(\alpha, S) \rightarrow [\textit{peint}(x, y, do(G, \alpha, S)) \\ & \leftrightarrow (\alpha = \textit{peindre}(x, y) \wedge \textit{ponce}(x, S)) \\ & \vee (\textit{peint}(x, y, S) \\ & \wedge \neg \exists c\ \alpha = \textit{peindre}(x, c) \wedge c \neq y)] \end{aligned}$$

qui signifie que pour qu'un objet x soit peint avec la couleur y après une action réalisée par un groupe G, il faut et il suffit que :
- soit G ait exécuté l'action de peindre x avec la couleur y dans la situation où x a été poncé ;
- soit x avait déjà la couleur y et G n'a pas peint x avec une autre couleur que y.

D'autres détails peuvent être trouvés dans [17].

Pour tout groupe d'agents G compétent pour réaliser l'action primitive α dans la situation initiale S_0, on considérera l'axiome suivant :

$$\textit{competent}(G, \alpha, S_0) \tag{7}$$

qui permet de modéliser toutes les compétences à l'état initial. Comme *competent* est un *fluent*, nous pouvons exprimer un axiome d'état successeur. Nous choisissons dans notre modélisation de considérer que les compétences sont pérennes, i.e. que si un groupe d'agent a une certaine compétence dans la situation S_0, il conservera cette compétence.

$$\forall\alpha\forall\beta\forall G\forall S \;\; \textit{Poss}(\beta, S) \rightarrow (\textit{competent}(G, \alpha, S) \leftrightarrow \textit{competent}(G, \alpha, do(G, \beta, S))) \tag{8}$$

Nous allons maintenant détailler les axiomes qui nous permettent de dériver les capacités théoriques et capacités « réelles ». Dans un premier temps, nous considérons l'axiome suivant :

$$\begin{aligned}\forall G\forall\alpha\forall S \;\; & \textit{competent}(G, \alpha, S) \\ & \wedge \textit{primitive\_action}(\alpha) \\ & \wedge \textit{conditions\_t}(G, \alpha, S) \\ & \rightarrow \textit{able\_t}(G, \alpha, S)\end{aligned} \tag{9}$$

Cet axiome nous permet d'exprimer, pour une action primitive α, quelles sont les conditions relatives aux agents du groupe G pour que G soit théoriquement capable de réaliser α dans la situation S. Ces conditions sont représentées par *conditions_t*(G, α, S). Par exemple, considérons un agent a compétent pour poncer une porte. Une des conditions pour que a soit capable théoriquement de poncer la porte est qu'il ne soit pas fatigué, car poncer une porte demande de l'énergie.

Pour pouvoir ensuite dériver les capacités théoriques d'un groupe d'agents à partir des capacités théoriques des sous-groupes de ce groupe, nous considérons les axiomes suivants :

$$\begin{aligned}\forall G\forall G'\forall\alpha\forall S \;\; & \textit{primitive\_action}(\alpha) \\ & \wedge G' \subseteq G \\ & \wedge \textit{able\_t}(G', \alpha, S) \\ & \rightarrow \textit{able\_t}(G, \alpha, S)\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}\forall G\forall G'\forall\alpha\forall\beta\forall S \;\; & G' \subseteq G \wedge \textit{able\_t}(G', \alpha, S) \\ & \wedge \textit{able\_t}(G, \beta, do(G', \alpha, S)) \\ & \rightarrow \textit{able\_t}(G, \alpha;\beta, S)\end{aligned} \tag{11}$$

L'axiome (10) exprime le fait que si un sous-groupe d'agents G' est capable théoriquement de réaliser une action primitive α, alors le groupe G est également capable de réaliser α. L'axiome (11) exprime le fait que si un sous groupe d'agents est capable théoriquement de réaliser une action α et que le groupe d'agents est capable théoriquement de réaliser β après que le sous-groupe ait réalisé α alors le groupe est capable théoriquement de réaliser α puis β.

Enfin, l'axiome suivant nous permet de dériver les capacités d'un groupe d'agents :

$$\begin{aligned}\forall G\forall\alpha\forall S \;\; & \textit{able\_t}(G, \alpha, S) \wedge \textit{Poss}(\alpha, S) \\ & \rightarrow \textit{able}(G, \alpha, S)\end{aligned} \tag{12}$$

Comme introduit dans la section 2.3, la capacité d'un groupe d'agents fait intervenir non seulement des conditions sur le groupe d'agents, mais également sur l'environnement représenté ici par les préconditions de l'action à réaliser.

4 Quelques propriétés de la modélisation

Dans cette section, nous nous intéressons à quelques propriétés intéressantes du formalisme. En particulier, nous vérifions que l'on peut déduire les propriétés intuitives de la notion de capacité à partir de l'axiome (12).

Propriété 1

$$\begin{aligned}\vdash \forall\alpha\forall\beta\forall G\forall G'\forall S \;\; & \textit{able}(G, \alpha, S) \\ & \wedge \textit{able}(G', \beta, do(G, \alpha, S)) \\ & \rightarrow \textit{able}(G \cup G', \alpha;\beta, S)\end{aligned}$$

On prouve cette propriété par une induction sur la longueur de la séquence $\alpha;\beta$.

Cette propriété signifie que si le groupe d'agents G est capable de faire l'action α dans la situation S, et si le groupe d'agents G' est capable de faire l'action β après que G ait fait α dans la situation S, alors le groupe $G \cup G'$ est capable de faire la séquence $\alpha;\beta$ dans S.

Un corollaire immédiat de cette propriété est le suivant :

Corollaire 1

$$\vdash \forall\alpha\forall\beta\forall G\forall S \;\; \textit{able}(G,\alpha,S) \\ \wedge\, \textit{able}(G,\beta,do(G,\alpha,S)) \\ \rightarrow \textit{able}(G,\alpha;\beta,S)$$

Cette propriété garantit que si le groupe d'agent G est capable de faire l'action α dans la situation S, et si le groupe G est capable de faire l'action β après avoir fait α dans la situation S, alors il est capable de faire la séquence $\alpha;\beta$ dans S.

Propriété 2 *Soient f un fluent et α une action tels que $\vdash \forall G\forall S$ Poss$(\alpha,S) \rightarrow f(\ldots,do(G,\alpha,f))$, alors $\nvdash \forall S\forall G' \;\; f(\ldots,S) \rightarrow able(G',\alpha,S)$.*

On prouve cette propriété en exhibant un contre-exemple.

Cette propriété garantit que l'on ne validera pas l'assertion suivante : si α est une action dont une postcondition est f (donc après toute exécution de α par un groupe d'agents G, f est vrai) et si f est vraie dans une situation, alors un groupe d'agents quelconque G' est capable de faire α. Par exemple, même la porte est peinte dans la situation S, on ne déduira pas que Jean est capable, dans la situation S, de peindre la porte, si par exemple, Jean n'est pas compétent pour peindre la porte.

Enfin, on peut remarquer qu'un groupe d'agents peut avoir la capacité théorique de réaliser une action sans en être capable : il suffit pour cela que les préconditions de l'action ne soit pas vraie dans la situation considérée.

5 Exemple

5.1 Description de l'exemple

Nous utilisons pour exemple une extension de l'exemple présenté dans [4]. Nous considérons un groupe de trois agents a, b et c qui effectuent diverses opérations sur une porte. Nous décrivons le problème dans ce qui suit.

– Les actions primitives sont les suivantes : soulever la porte, poncer la porte et peindre la porte.
– Les compétences des agents sont les suivantes : a sait poncer la porte, et il sait peindre la porte. b ne sait que peindre la porte, a et b ensemble savent soulever la porte. c ne sait rien faire.
– Dans la situation initiale, il y a une ponceuse, il y a de la peinture, et les agents ne sont pas fatigués.
– Poncer n'est possible que s'il y a une ponceuse. Peindre n'est possible que s'il y a de la peinture.
– Les capacités théoriques sont définies comme suit : un agent est théoriquement capable de poncer la porte s'il est compétent pour le faire et s'il n'est pas fatigué. Un agent est théoriquement capable de peindre la porte s'il est compétent pour le faire et s'il n'est pas fatigué. Deux agents ensemble sont théoriquement capables de soulever la porte s'ils sont compétents pour le faire ensemble, et s'ils ne sont pas fatigués.
– Les axiomes d'états successeurs sont définis comme suit : un agent ne se fatigue que s'il ponce ou que s'il a participé à soulever la porte. Après qu'on ait peint, il n'y a plus de peinture. Le fait qu'il y ait une ponceuse n'est remis en cause par aucune action.

5.2 Modélisation de l'exemple en Prolog

Nous utilisons un programme Prolog pour pouvoir raisonner sur les capacités des agents. Dans ce programme, nous codons les axiomes présentés dans la section 3.2. Comme dans [13], nous utilisons un prédicat `holds` dont le dernier argument est une situation plutôt que de rajouter pour chaque fluent une situation en argument. Le programme Prolog qui modélise alors l'exemple est :

```
/* Actions primitives */
primitive_action([soulever]).
primitive_action([poncer]).
primitive_action([peindre]).

/* Situation initiale */
holds(competent([a,b],[soulever]),s0).
holds(competent([b,a],[soulever]),s0).
holds(competent([a],[poncer]),s0).
holds(competent([a],[peindre]),s0).
holds(competent([b],[peindre]),s0).

holds(ok([a]),s0).
holds(ok([b]),s0).
holds(ok([c]),s0).

holds(peinture,s0).
holds(ponceuse,s0).

/* Axiomes d'états successeurs */
holds(competent(A,X),do(B,Y,S)):-
  holds(competent(A,X),S), poss(Y,S).

holds(able_t([X,Y],[soulever]),S) :-
  holds(ok([X]),S),
  holds(ok([Y]),S),
  holds(competent([X,Y],[soulever]),S).

holds(able_t(A,[poncer]),S) :-
  holds(ok([A]),S),
  holds(competent([A],[poncer]),S).
```

```
holds(able_t([A],[peindre]),S) :-
  holds(ok([A]),S),
  holds(competent([A],[peindre]),S).

holds(ok([A]), do(B,X,S)):-
  B=[A], \+X=[poncer], holds(ok([A]),S), poss(X,S) ;
  subseq0(B,[A]), \+X=[soulever], holds(ok([A]),S),
                                              poss(X,S) ;
  \+subseq0(B,[A]),  holds(ok([A]),S), poss(X,S).

holds(peinture,do(B,X,S)) :-
  \+ X=[peindre],
  holds(peinture,S), , poss(X,S).

holds(ponceuse,do(B,X,S)) :-
  holds(ponceuse,S), poss(X,S).

/* Préconditions pour les actions */
poss([soulever],S).
poss([poncer],S) :- holds(ponceuse,S).
poss([peindre],S) :- holds(peinture,S).
```

5.3 Quelques questions

En utilisant le programme Prolog présenté précédemment, on peut poser les questions suivantes :

- `holds(able_t([a], [peindre]), do([a], [peindre], s0)).`
  `yes`
  Comme peindre ne fatigue pas, même si a a déjà peint, il est capable théoriquement de peindre encore.
- `holds(able([a], [peindre]), do([a], [peindre], s0)).`
  `no`
  Par contre, si a a déjà peint, il ne reste plus de peinture, donc a n'est plus capable de peindre à nouveau.
- `holds(able([a,b], [soulever]), do([a], [peindre], s0)).`
  `yes`
  Ni a, ni b ne sont fatigués une fois que a a peint, donc ensemble ils sont capables de soulever la porte.
- `holds(able_t([a], [peindre]), do([a,b], [soulever], s0)).`
  `no`
  Après avoir soulevé la porte avec b, a est fatigué donc il n'est plus capable théoriquement de peindre.
- `holds(able([a,b], [peindre,soulever]), s0).`
  `yes`
  Après qu'un agent ait peint, celui-ci n'est pas fatigué, donc a et b sont capables de soulever la porte après l'avoir peinte.
- `holds(able([a,b], [soulever,peindre]), s0).`
  `no`
  Après avoir soulevé la porte, a et b sont fatigués donc ni l'un ni l'autre ne peut peindre.

Nous rajoutons maintenant que c est compétent pour peindre la porte :

```
holds(competent([c],[peindre]),s0).
```

On peut alors poser la question suivante :

- `holds(able([a,b,c], [soulever, peindre]), s0).`
  `yes`
  Si deux agents soulèvent la porte, cela ne fatigue pas le troisième qui est capable ensuite de peindre. Donc le groupe formé des trois agents est capable de soulever puis de peindre la porte.

6 Discussion

Nous avons présenté ici une modélisation de la notion de capacité pour un agent ou un groupe d'agents en utilisant le calcul des situations. La capacité d'un groupe d'agents est définie en fonction des compétences des agents du groupe (i.e. de leur savoir-faire), de la capacité théorique du groupe d'agents, en tenant compte des caractéristiques des agents et de l'état du monde.

Nous avons établi quelques propriétés de cette modélisation mais nous devons encore en établir d'autres. En parallèle, nous avons implanté ce modèle en Prolog.

En ce qui concerne l'extension de ce travail, nous pourrions dans un premier temps nous intéresser à des d'autres actions complexes : concurrence, itération ou actions de test. De plus, nous pourrions intégrer ce travail à Golog, qui est un langage permettant de raisonner sur des actions complexes dans le calcul des situations [13] et disposant déjà d'opérateurs modélisant ces actions.

Par ailleurs, nous ne prenons pas en compte le temps dans notre approche. Celui-ci n'est modélisé que par les situations et nous ne disposons pas d'une quantification du temps. Nous pourrions ajouter un paramètre permettant par exemple de donner la durée d'une action, ou de spécifier les changements de valeurs de vérité des *fluents* suivant une horloge. En particulier, les compétences des agents sont pérennes ici : il pourrait être intéressant de les faire évoluer au cours du temps.

Les actions extérieures ne sont également pas prises en compte. Une solution simple mais non étudiée ici serait d'introduire un agent « extérieur » qui permettrait de modéliser les changements du monde indépendants des agents.

Enfin, nous avons émis une hypothèse forte lorsque nous avons défini la capacité théorique d'un groupe : un groupe d'agents est capable théoriquement de réaliser une action dès lors qu'un de ses agents est capable de la réaliser théoriquement. Or, il existe certainement d'autres façons de définir la notion de capacité. Par exemple, un agent capable seul de réaliser une action peut ne plus être capable de la réaliser lorsqu'il appartient à un groupe. Nous devrons donc étendre notre modélisation pour prendre en compte ce problème.

Références

[1] B. Chaib-Draa and R. Demolombe. L'interaction comme champ de recherche. *Information - Interaction - Intelligence, numéro spécial Modèles Formels de l'Interaction*, pages 5–24, 2001.

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

[3] L. Cholvy and C. Garion. Allocation de buts affectés à un groupe d'agents. *Information - Interaction - Intelligence, numéro spécial Modèles Formels de l'Interaction*, pages 67–90, 2002.

[4] L. Cholvy and C. Garion. Distribution of goals addressed to a group of agents. In J. S. Rosenschein, T. Sandholm, M. Wooldridge, and M. Yokoo, editors, *Proceedings of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pages 765–772. ACM Press, July 2003.

[5] P.R. Cohen and H.J. Levesque. Intention is choice with commitment. *Artificial Intelligence*, 42 :213–261, 1990.

[6] R. Demolombe. Formalisation en logique des interactions entre agents : quels concepts formaliser ? Technical report, ONERA/DTIM, 2000.

[7] D. Elgesem. The modal logic of agency. *Nordic Journal of Philosophical Logic*, 2(2) :1–46, 1997.

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

[9] D. Harel. Dynamic logic. In D. Gabbay and F. Guenthner, editors, *Handbook of Philosophical Logic*, volume 2, pages 497–604. D. Reidel Publishing Company, 1984.

[10] J.F. Horty. Agency and obligation. *Synthese*, 108 :269–307, 1996.

[11] J.F. Horty and 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.

[12] Y. Lespérance, H.J. Levesque, F. Lin, and R.B. Scherl. Ability and knowing how in the situation calculus. *Studia Logica*, 66(1) :165–186, oct 2000.

[13] H.J. Levesque, R. Reiter, Y. Lespérance, F. Lin, and R. Scherl. GOLOG : A logic programmning language for dynamic domains. *Journal of Logic Programming*, 31 :59–84, 1997.

[14] J. MacCarthy and P. Hayes. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In D. Michie and B. Melzer, editors, *Machine Intelligence 4*, pages 463–502. Edinburgh University Press, 1969.

[15] J. McCarthy. Circumscription - a form of non-monotonic reasoning. *Artificial Intelligence*, 13 :27–39, 1980.

[16] M. Pauly. A modal logic for conditional power in games. *Journal of Logic and Computation*, 12(1) :149–166, 2000.

[17] R. Reiter. The frame problem in the situation calculus : a simple solution (sometimes) and a completeness result for goal regression. In *Artificial Intelligence and Mathematical Theory of Computation : Papers in Honor of John McCarthy*, pages 359–380. Academic Press, New York, 1991.

[18] R. Thomason. Combinations of tense and modality. In D. Gabbay and F. Guethner, editors, *Handbook of Philosophical Logic, Volume II : Extensions of Classical Logic*, pages 135–165. D. Reitel Publishing Company, 1984.

[19] R. Thomason. Ability, action and context. Presentation at the Temporality and Discourse Context : Dynamic and Modal Approaches Workshop, 2001.

[20] B. van Linder, W. van der Hoek, and J.-J. Ch. Meyer. Formalizing abilities and opportunities of agents. *Fundamenta Informaticae*, 34(1-2) :53–101, 1998.