Agents coopératifs et politiques d'échange d'informations

L. Cholvy 1
laurence.cholvy@onera.fr

S. Roussel 2
stephanie.roussel@cril.fr

1 [FIXME: Adresse ONERA] ONERA
2, avenue Edouard Belin
31055 TOULOUSE Cedex France

2 [FIXME: Adresse CRIL] Université Lille - Nord de France, Artois, F-62307 Lens
CRIL, F-62307 Lens
CNRS UMR 8188, F-62307
rue Jean Souvraz SP18, F-62307 Lens France

Résumé :
Dans les systèmes multiagents, les agents sont souvent supposés être coopératifs les uns avec les autres dans leurs échanges, ceci afin de mener à bien une tache globale. Ils sont également souvent tenus de respecter la politique d'échange d'informations du système qui régule quels échanges sont obligatoires, permis ou interdits entre les agents et sous quelles conditions. Comment dans ce cas les agents peuvent-ils être à la fois coopératifs et obéissants ? Dans cet article, nous définissons une politique d'échange d'informations particulière, que nous appelons politique de coopération, qui est la politique que les agents doivent respecter pour être coopératifs. Ainsi, nous ramenons la problématique d'être à la fois obéissant et coopératif à la problématique de respecter deux politiques d'échange d'informations différentes : la politique qui existe déjà au sein du système et la politique de coopération. Nous étudions également le cas où ces politiques sont conflictuelles et proposons alors de nouvelles définitions des caractères obéissants et coopératifs des agents. [FIXME: A relire]

Mots-clés : système multiagents, agent coopératif, agent obéissant, politique d'échange d'information [FIXME: A relire]

Keywords: multiagent systems, cooperative agent, [FIXME: A relire]

1 Introduction

Le contexte général de ce travail est la modélisation des systèmes formés d'agents qui coopèrent pour mener à bien une tâche globale et qui sont soumis à une politique d'échange d'informations règlementant les communications.

C'est le cas de la plupart des systèmes de Secours et Sauvetage (Search and Rescue ou SAR) qu'ils soient militaires ou civils. Ces systèmes nécessitent la coordination de plusieurs agents (avion, navire, hélicoptère, ambulances..) qui, pour mener à bien la mission globale doivent communiquer aux autres les informations qui leur sont utiles mais qui doivent également respecter des consignes de confidentialité sur certains types d'informations.

Dans ces systèmes, les agents doivent à la fois communiquer de façon coopérative (et donc envoyer aux autres agents les informations utiles ou supposées utiles pour leur tâche courante) tout en respectant une politique qui peut les obliger à taire une information utile ou au contraire à diffuser une information non utile. Ceci est précisément le problème abordé dans cet article : comment des agents devant être coopératifs peuvent-ils l'être lorsqu'il existe une politique régissant les communications ?

Pour résoudre ce problème, nous montrons qu'être coopératif en matière de communication, c'est communiquer selon un ensemble de règles que l'on appelle "politique de coopération" et qui n'est rien d'autre qu'une politique d'échange particulière. La question posée précédemment se ramène donc à la question de conflits entre deux politiques d'échange : celle qui existe dans le système et celle qui régit la coopération.

Dans ce cadre, nous nous basons sur nos travaux précédents en matière de modélisation de politiques d'échange [3]. Nous reprenons le formalisme de [7] pour modéliser les politiques d'échange et introduire la notion de politique cohérente.

La contribution principale de cet article est d'introduire la notion de politique de coopération comme une politique d'échange particulière ce qui nous permet d'avoir un cadre formel unique pour mettre en évidence les conflits et pour les gérer.

Cet article est organisé comme suit : nous reprenons en section 2 le cadre formel de [7], à savoir une logique modale déontique du premier ordre. Dans la section 3, nous définissons dans ce cadre formel les politiques d'échange d'informations et un certain nombre de notions associées. Nous présentons en section 4 la politique d'échange d'informations particulière qu'est la politique de coopération. Nous proposons ensuite des nouvelles définitions des caractères coopératifs et obéissants des agents. Finalement, nous concluons en section 6 sur ce travail.

2 Cadre formel

Dans [7], nous avons défini une logique déontique du premier ordre (FOSDL) pour étudier deux propriétés particulières des réglementations. Nous reprenons ici ce cadre formel pour modéliser les réglementations particulières que sont les politiques d'échange d'informations.

2.1 Langage

L'alphabet de FOSDL est composé des ensembles suivants de symboles non logiques :
- un ensemble $\mathcal{P} = \{Q, R, \ldots\}$ de symboles de prédicats
- un ensemble $\mathcal{F} = \{f, g \ldots\}$ de symboles de fonctions
- une modalité O représentant l'obligation

Notons que l'ensemble des fonctions d'arité 0 est appelé *ensemble des constantes* et est noté $\mathcal{C}$.

Nous définissons également les symboles logiques suivants :
- un ensemble $\mathcal{V} = \{x, x_1, x_2, y \ldots\}$ de symboles de variables
- des connecteurs et quantificateurs : $\neg$, $\vee$, $\forall$, (et).

Définition 1 (Termes) *On définit un terme récursivement de la façon suivante :*
- *si x est une variable de $\mathcal{V}$, alors x est un terme.*
- *si c est une constante de $\mathcal{C}$, alors c est un terme.*
- *si $t_1, \ldots, t_n$ sont des termes et f une fonction d'arité n, alors $f(t_1, \ldots, t_n)$ est un terme.*

Définition 2 (Formules de FOSDL) *Les formules de FOSDL sont définies récursivement comme suit :*

- *si $t_1, \ldots, t_n$ sont des termes et Q un symbole de prédicat d'arité n, alors $Q(t_1, \ldots, t_n)$ est une formule de FOSDL.*
- *si φ est une formule de FOSDL, alors $O\varphi$ est une formule de FOSDL.*
- *si ψ_1 et ψ_2 sont des formules de FOSDL et x_1 un symbole de variable, alors $\neg\psi_1$, $\psi_1 \vee \psi_2$, $\forall x_1\ \psi_1$ sont des formules de FOSDL.*

On appelle *littéral positif* toute formule de la forme $Q(t_1, \ldots, t_n)$ et *littéral négatif* toute formule de la forme $\neg Q(t_1, \ldots, t_n)$ avec Q un symbole de prédicat et $t_1, \ldots, t_n$ des termes. Un *littéral* est un littéral positif ou un littéral négatif.

Si ψ_1, ψ_2 et ψ_3 sont des formules de FOSDL et x_1 est un symbole de variable, nous définissons également les abréviations suivantes :
- $\psi_1 \wedge \psi_2 \equiv \neg(\neg\psi_1 \vee \neg\psi_2)$
- $\psi_1 \rightarrow \psi_2 \equiv \neg\psi_1 \vee \psi_2$
- $\psi_1 \leftrightarrow \psi_2 \equiv (\neg\psi_1 \vee \psi_2) \wedge (\psi_1 \vee \neg\psi_2)$
- $\exists x_1\ \psi_1 \equiv \neg\forall x_1\ \neg\psi_1$

Définition 3 *Les modalités représentant l'optionnalité et l'interdiction (respectivement notées P et F) sont définies à partir de O comme suit :*

$$P\varphi \equiv \neg O\varphi \wedge \neg O\neg\varphi$$
$$F\varphi \equiv O\neg\varphi$$

On pourra remarquer que la modalité P représente l'optionnalité et non la permission. Les trois modalités O, P et F que nous considérons correspondent aux trois positions normatives de Kanger et Lindahl [11, 14].

Une formule de FOSDL sans modalités est dite *objective*. Les termes et formules de FOSDL sans symboles de variables sont dits *de base*. L'ensemble des termes de base de FOSDL est appelé univers de Herbrand HU.

Dans les formules $\forall\, x\ \varphi$ et $\exists\, x\ \varphi$, φ s'appelle la *portée* du quantificateur. Une occurrence d'une variable est *libre* si elle n'est dans la portée d'aucun quantificateur. Sinon, elle est *liée*.

Enfin, nous appelons une *substitution de base* toute fonction $\chi\ : \mathcal{V} \rightarrow HU$. Si $\varphi(x)$ est une formule de FOSDL avec une variable libre x, $\varphi(\chi(x))$ est la formule φ dans laquelle les occurrences libres de x ont été remplacées par $\chi(x)$.

2.2 Sémantique

On reprend ici la sémantique développée dans [6] pour les logiques modales du premier ordre. La sémantique des logiques modales propositionnelles est classiquement définie en utilisant des modèles de Kripke [12, 13]. Les modèles sont définis par un *cadre* $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R} \rangle$, où $\mathcal{W}$ est un ensemble de mondes et $\mathcal{R}$ une relation d'accessibilité entre les mondes, et une valuation V entre les mondes et les lettres propositionnelles. Dans le cas du premier ordre, nous définissons des modèles en utilisant un cadre *augmenté* et une interprétation du premier ordre au lieu de V.

La sémantique des langages du premier ordre est fondée sur un ensemble de symboles (les *objets du discours*), appelé le *domaine*. Le domaine représente les objets sur lesquels les prédicats vont porter par opposition aux termes qui sont des notions purement mathématiques. Dans le cas d'une logique modale du premier ordre, nous devons choisir entre des cadres augmentés à domaine constant ou à domaine variable. Dans le premier cas, le domaine est fixé pour tous les mondes de $\mathcal{W}$, dans le second cas, chaque monde de $\mathcal{W}$ peut avoir son propre domaine. Nous choisissons ici un domaine constant. Comme les normes que nous étudions ne concernent que des éléments fixes, ce choix est assez intuitif [1].

Définition 4 *Soient $\mathcal{W}$ un ensemble de mondes, $\mathcal{R}_O$ une relation sur $\mathcal{W}^2$ et $\mathcal{D}$ un ensemble non vide de symboles représentant le domaine, alors $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D} \rangle$ est appelé un cadre.*

Pour définir un modèle, nous devons définir une interprétation du premier ordre, ce qui est fait classiquement dans ce qui suit.

Définition 5 *Une interprétation $\mathcal{I}$ dans un cadre $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D} \rangle$ est une application telle que :*
- *pour tout symbole de constante (ou fonction d'arité 0) de $\mathcal{C}$ et tout monde $w \in \mathcal{W}$, $\mathcal{I}(c, w)$ est un élément de $\mathcal{D}$.*
- *pour tout symbole de fonction n-aire f dans $\mathcal{F}$ et tout monde $w \in \mathcal{W}$, $\mathcal{I}(f, w)$ est une fonction de $\mathcal{D}^n$ dans $\mathcal{D}$.*
- *pour tout symbole de prédicat n-aire Q dans $\mathcal{P}$ et tout monde $w \in \mathcal{W}$, $\mathcal{I}(Q, w)$ est une relation sur $\mathcal{D}^n$.*

Définition 6 *Un modèle $\mathcal{M}$ est une structure $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$ où $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D} \rangle$ est un cadre et $\mathcal{I}$ une interprétation sur $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D} \rangle$.*

Enfin, nous utilisons une classe de cadres qui modélisent le comportement de l'opérateur O en contraignant la relation d'accessibilité $\mathcal{R}_O$.

Définition 7 *Un modèle de FOSDL est un modèle $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$ tel que $\mathcal{R}_O$ est sérielle* [2].

Nous définissons ensuite la notion de *valuation* qui associe les variables du langage aux éléments de $\mathcal{D}$:

Définition 8 (Valuation) *Soient $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$ un modèle. Une valuation dans le modèle $\mathcal{M}$ est une fonction $\mathcal{V} \to \mathcal{D}$ qui associe à chaque variable libre x un élément de $\mathcal{D}$.*

Une valuation σ' est une valuation x-variante d'une valuation σ si σ et σ' sont identiques sauf en x.

Définition 9 (Evaluation des termes) *Soient $\langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$ un modèle, w un monde de $\mathcal{W}$ et σ une valuation dans $\mathcal{M}$. À chaque terme t, nous associons une valeur dans un monde w, notée $(\sigma \star \mathcal{I})(t, w)$ comme suit :*
- *Si x est une variable libre, $(\sigma \star \mathcal{I})(x, w) = \sigma(x)$.*
- *Si c est un symbole de constante, $(\sigma \star \mathcal{I})(t, w) = \mathcal{I}(c, w)$.*
- *Si f est un symbole de fonction d'arité n et que $t_1, \ldots, t_n$ sont n termes alors $(\sigma \star \mathcal{I})(f(t_1, \ldots, t_n)) = \mathcal{I}(f, w)((\sigma \star \mathcal{I})(t_1, w), \ldots, (\sigma \star \mathcal{I})(t_n, w))$*

Tous les termes fermés sont localement rigides, c'est-à-dire que pour tout couple de mondes (w, v) de $\mathcal{W}^2$, si $w\mathcal{R}_O v$ alors $(\sigma \star \mathcal{I})(t, w) = (\sigma \star \mathcal{I})(t, v)$.

Notons que nous imposons que les termes fermés soient localement rigides, c'est-à-dire que les termes désignent les mêmes objets dans les mondes qui sont accessibles les uns pour les autres.

Au niveau de l'interprétation des prédicats, cela nous évite d'avoir à choisir la signification

1. Les domaines variables peuvent néanmoins être utiles. Par exemple, dans une logique modale doxastique du premier ordre, un agent peut apprendre l'existence d'un objet particulier, ou un nouvel objet peut apparaître. Notons toutefois qu'il est possible de recréer le concept du domaine variable avec un cadre à domaine constant, par exemple en introduisant un prédicat d'existence qui, informellement, appliqué à un objet hypothétique, renvoie vrai si et seulement si l'objet existe dans le domaine actuel. Le lecteur pourra se référer à [6] pour plus de détails à ce sujet.

2. I.e. tout monde de $\mathcal{W}$ a un successeur par $\mathcal{R}_O$. Ceci nous garantit que l'axiome DO est bien représenté par la relation d'accessibilité entre mondes.

d'une formule telle que $O\ Q(c)$ où c est une constante : est-ce que cela signifie que « il est obligatoire que l'objet représenté par c *dans le monde courant* a la propriété Q » ou « il est obligatoire que *dans chaque monde accessible depuis le monde courant*, l'objet représenté par c a la propriété Q ». c étant un terme localement rigide, il désigne le même objet dans le monde courant et dans les mondes accessibles. Les deux significations possibles sont donc équivalentes. Dans notre cas, cela signifie que les objets du monde dans lequel la réglementation est définie sont identiques aux objets sur lesquels porte la réglementation. Nous évitons ainsi des détails techniques compliqués comme par exemple l'utilisation de l'abstraction pour les prédicats (voir [6] pour plus de détails).

La relation de satisfaisabilité $\models$ est définie comme suit :

Définition 10 *Soient $\mathcal{M} = \langle \mathcal{W}, \mathcal{R}_O, \mathcal{D}, \mathcal{I} \rangle$ un modèle de FOSDL, w un monde de $\mathcal{W}$ et σ une valuation sur $\mathcal{D}$. Alors :*

- *si Q est un symbole de prédicat n-aire et $t_1, \ldots, t_n$ sont des termes, alors $\mathcal{M}, w \models_\sigma Q(t_1, \ldots, t_n)$ si et seulement si $\langle (\sigma \star \mathcal{I})(t_1, w), \ldots, (\sigma \star \mathcal{I})(t_n, w) \rangle \in \mathcal{I}(Q, w)$.*
- *si ψ est une formule de FOSDL, alors $\mathcal{M}, w \models_\sigma \neg\psi$ si et seulement si $\mathcal{M}, w \not\models_\sigma \psi$.*
- *si ψ_1 et ψ_2 sont des formules de FOSDL, alors $\mathcal{M}, w \models_\sigma \psi_1 \vee \psi_2$ si et seulement si $\mathcal{M}, w \models_\sigma \psi_1$ ou $\mathcal{M}, w \models_\sigma \psi_2$.*
- *si $O\psi$ est une formule de FOSDL, $\mathcal{M}, w \models_\sigma O\psi$ si et seulement si pour tout $v \in \mathcal{W}$ tel que $w\mathcal{R}_O v$, $\mathcal{M}, v \models_\sigma \psi$.*
- *si ψ est une formule de FOSDL, $\mathcal{M}, w \models_\sigma \forall x\ \psi$ si et seulement si pour toute valuation σ' x-variant de σ, $\mathcal{M}, w \models_{\sigma'} \psi$.*

Soit ψ une formule fermée de FOSDL. Si pour une valuation σ on a $\mathcal{M}, w \models_\sigma \psi$, alors on a pour toute valuation σ, $\mathcal{M}, w \models_\sigma \psi$. On note alors dans ce cas $\mathcal{M}, w \models \psi$ et on dit que ψ est satisfaite dans w. Si $\mathcal{M}, w \models \psi$ pour tout w de $\mathcal{W}$, on note $\mathcal{M} \models \psi$ et on dit que ψ est valide dans $\mathcal{M}$. Enfin, si $\mathcal{M} \models \psi$ pour tout modèle $\mathcal{M}$ de FOSDL, on note $\models \psi$ et on dit que ψ est valide.

L'introduction de l'égalité est faite comme dans [6].

2.3 Axiomatique

Nous allons maintenant définir un système axiomatique pour FOSDL en suivant l'approche proposée dans [6]. Dans ce qui suit, $\varphi(x)$ est une formule dans laquelle la variable x peut avoir des occurrences libres. On dira qu'une variable libre y est *substituable* à x dans $\varphi(x)$ s'il n'y a pas d'occurrence de x dans $\varphi(x)$ qui soit une sous-formule commençant par $\forall y$.

Définition 11 (Axiomes) *Les formules de le forme suivante sont des axiomes :*
- *les tautologies de la logique propositionnelle (Taut)*
- *les axiomes de l'égalité (Eg)*
- $O(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (O\varphi \rightarrow O\psi)$ *(OK)*
- $O\varphi \rightarrow \neg O \neg \varphi$ *(OD)*
- $(\forall x)[\varphi \rightarrow \psi] \rightarrow [(\forall x\ \varphi) \rightarrow (\forall x\ \psi)]$ *(UnivDist)*
- $(\forall x)(\forall y)\ \varphi \leftrightarrow (\forall y)(\forall x)\ \varphi$ *(Per)*
- $(\forall y)[(\forall x)\ \varphi(x) \rightarrow \varphi(y)]$*, avec y substituable à x dans $\varphi(x)$ (UnivInst)*
- $O(\forall x\ \varphi) \rightarrow \forall x\ O\varphi$ *(Bar1)*
- $\forall x\ O\varphi \rightarrow O(\forall x\ \varphi)$ *(Bar2)*

Définition 12 (Règles d'inférence)
- $\dfrac{\varphi \quad \varphi \rightarrow \psi}{\psi}$ *(MP)*
- $\dfrac{\varphi}{\forall x\ \varphi}$ *(Gen)*
- $\dfrac{\varphi}{O\varphi}$ *(ONec)*

(OD) signifie que les obligations sont cohérentes ; (UnivDist) est la distributivité universelle ; (Per) est la permutation ; (UnivInst) est l'instanciation universelle ; (Bar1) et (Bar2) sont les formules de Barcan ; (MP) est la règle de Modus Ponens ; (Gen) est la règle de généralisation ; (ONec) est la règle de nécessitation pour l'obligation.

Les théorèmes de FOSDL sont les formules dont les formules (notées $\vdash \varphi$) qui peuvent être déduites des axiomes et des règles d'inférence.

Proposition 1 (Validité et complétude) *Le système précédent est valide et complet par rapport à la sémantique de FOSDL.*

Preuve 1 *La preuve est donnée dans [6].*

3 Politiques d'échange d'information

3.1 Définition formelle des politiques

Dans ce cadre formel, nous pouvons définir les politiques d'échange d'information. Pour cela, nous introduisons quelques prédicats nécessaires.

Définition 13 (Quelques symboles de prédicats)

– $Agent(x)$ *signifie que* x *est un agent*
– $Info(z)$ *signifie que* z *est une information*
– $Informe(x, y, z)$ *signifie que l'agent* x *informe l'agent* y *de l'information* z*.*

Nous définissons maintenant les formules particulières que sont les règles.

Définition 14 (Règle) *Une règle est une formule de FOSDL de la forme :*

$$\forall x, y, z, \vec{v} \;\; Agent(x) \wedge Agent(y) \wedge \neg(x = y)$$
$$\wedge\; Info(z) \wedge l_1 \wedge \ldots \wedge l_n \rightarrow \Box Informe(x, y, z)$$

avec $n \geq 1$ *telle que*

1. $\forall \vec{v}$ *représente* $\forall v_1 \ldots \forall v_m$ *où* $\{v_1, \ldots, v_m\}$ *est l'ensemble des variables libres apparaissant dans* $l_1 \wedge \ldots \wedge l_n$*.*
2. $\Box \in \{O, P, F\}$*.*
3. $\forall i \in \{1, \ldots, n\}$*,* l_i *est un littéral.*

Dans cette définition, la contrainte (1) exprime le fait que les règles sont des formules fermées. Les contraintes (2) et (3) permettent d'exprimer des règles de la forme "si x et y sont deux agents différents et que telle condition est vraie alors l'échange d'informations est obligatoire (resp. optionnel ou interdit)". On peut remarquer que les règles que nous considérons sont des formules à champ restreint[3] car les trois variables x, y et z qui apparaissent dans le littéral sous la modalité déontique sont présents dans trois littéraux positifs prémisses de la règle : $Agent(x)$, $Agent(y)$ et $Info(z)$.

Définition 15 (Politique d'échange) *Une politique d'échange d'information est un ensemble de règles.*

3. Les formules à champ restreint sont un fragment décidable des formules domaine-indépendant dont on a prouvé qu'elles étaient les seules formules du premier ordre ayant une signification en modélisation [5].

Exemple 1 *Dans tous les exemples de l'article, nous illustrerons les différentes notions abordées sur la même politique d'échange d'informations* ρ_0 *que nous introduisons ici. Nous définissons tout d'abord le langage spécifique suivant :*

– a*,* b*,* i*,* T *sont des constantes*
– x*,* y*,* z*,* t *sont des variables*
– $Recoit(x, z)$ *est un symbole de prédicat qui signifie que l'agent* x *recoit l'information* z
– $Theme(z, t)$ *est un symbole de prédicat qui signifie que l'information* z *a pour thème* t
– $NiveauRequis(x, z)$ *est un symbole de prédicat qui signifie que l'agent* x *a le niveau d'habilitation requis pour prendre connaissance de l'information* z*.*

Considérons maintenant la politique ρ_0 *composée des trois règles suivantes :*

$$(PO)\; \forall x, y, z,$$
$$Agent(x) \wedge Agent(y) \wedge \neg(x = y) \wedge Info(z)$$
$$\wedge\; Recoit(x, z) \wedge NiveauRequis(y, z)$$
$$\wedge\; Theme(z, T) \rightarrow OInforme(x, y, z)$$

$$(PP)\; \forall x, y, z,$$
$$Agent(x) \wedge Agent(y) \wedge \neg(x = y) \wedge Info(z)$$
$$\wedge\; Recoit(x, z) \wedge NiveauRequis(y, z)$$
$$\wedge\; \neg Theme(z, T) \rightarrow PInforme(x, y, z)$$

$$(PF)\; \forall x, y, z,$$
$$Agent(x) \wedge Agent(y) \wedge \neg(x = y) \wedge Info(z)$$
$$\wedge\; Recoit(x, z) \wedge \neg NiveauRequis(y, z)$$
$$\rightarrow FInforme(x, y, z)$$

La règle (PO) *signifie que étant donnés deux agents* x *et* y *et une information* z*, si* x *reçoit* z*, que le thème de* z *est* T *et que* y *a le niveau d'habilitation requis pour prendre connaissance de* z *alors* x *a l'obligation d'informer* y *de* z*. La règle* (PP) *stipule que si l'information reçue par* x *n'a pas pour thème* T *mais que* y *a le niveau d'habilitation requis pour en prendre connaissance alors il est optionnel pour* x *d'informer* y *de celle-ci. Finalement, la règle* (PF) *stipule que les agents ont l'interdiction de transmettre des informations qu'ils reçoivent à des agents non habilités.*

3.2 Etats du monde, cohérence des politiques

Pour pouvoir décrire les différentes situations dans lesquelles les politiques d'échanges d'information sont appliquées, nous introduisons la notion d'état du monde.

Définition 16 (État du monde) *Un état du monde s est un ensemble complet et cohérent de littéraux de base.*

Un état du monde est une représentation syntaxique d'une interprétation de Herbrand. Donc, pour tout symbole de prédicat n-aire Q, tous termes de base $t_1, \ldots, t_n$ et tout état du monde s, soit $Q(t_1, \ldots, t_n) \in s$ soit $\neg Q(t_1, \ldots, t_n) \in s$ (c'est ce que nous appelons complet pour un état du monde). Dans ce qui suit, quand nous décrivons un état du monde, nous omettrons les littéraux négatifs pour plus de lisibilité.

Parmi l'ensemble des états du monde possibles, nous nous intéressons plus particulièrement aux états du monde qui sont cohérents avec des *contraintes d'intégrité*, par exemple des contraintes physiques ou des contraintes du domaine.

Définition 17 (Contraintes d'intégrité) *Une contrainte d'intégrité est une formule objective fermée ne contenant pas le prédicat $\mathit{Informe}$ [FIXME: Vérifier footnote ! !] [4]. On note IC l'ensemble des contraintes d'intégrité.*

Définition 18 (État du monde cohérent avec IC) *Soit s un état du monde et IC l'ensemble des contraintes d'intégrité. On dit que s est cohérent avec IC ssi $s, IC \nvdash \bot$.*

Nous étudions maintenant une propriété importante des politiques d'échanges d'information : la *cohérence*. Nous reprenons ici la définition que nous avions donnée dans [7].

Définition 19 (Politique cohérente) *Soient ρ une politique d'échange d'information, IC un ensemble de contraintes d'intégrité et s un état du monde cohérent avec IC. ρ est cohérente par rapport à IC dans s ssi $\rho, s, IC \nvdash \bot$.*

4. Comme les modalités déontiques portent sur le prédicat $\mathit{Informe}$, autoriser des contraintes sur celui-ci peut conduire à des contradictions, ce que nous souhaitons éviter.

3.3 Agent en accord avec une politique d'échange

Intuitivement, un agent est en accord avec une politique d'échange d'informations lorsqu'il met en œuvre les actions prescrites par la politique. Plus précisément, il effectue l'action lorsque celle-ci est obligatoire et il ne l'effectue pas lorsqu'elle est interdite. Dans le cas où une action est considérée optionnelle par une politique, que l'agent effectue cette action ou pas, il est en accord avec celle-ci. Formellement, nous commençons par définir cette notion pour un tuple puis nous l'étendons.

Définition 20 (Agent en accord avec une politique pour un t *Soient s un état du monde et ρ une politique d'échange d'informations cohérente dans s par rapport à IC. Supposons que $\mathit{Agent}(a)$ soit élément de s, a étant un terme de base. Soient b et i des termes de base. Alors, on dit que l'agent a est en accord avec la politique ρ dans l'état du monde s pour le couple $\langle b, i\rangle$ ssi :*
- *si $\rho, s, IC \vdash O\mathit{Informe}(a, b, i)$ alors $\rho, s, IC \vdash \mathit{Informe}(a, b, i)$*
- *si $\rho, s, IC \vdash F\mathit{Informe}(a, b, i)$ alors $\rho, s, IC \vdash \neg\mathit{Informe}(a, b, i)$*

Définition 21 (Agent en accord avec une politique) *Soient s un état du monde et ρ une politique d'échange d'informations cohérente dans s par rapport à IC. Supposons que $\mathit{Agent}(a)$ soit élément de s, a étant un terme de base. L'agent a est obéissant à la politique ρ dans l'état du monde s par rapport à IC ssi il est en accord avec ρ dans s par rapport à IC pour tout couple $\langle b, i\rangle$ où b et i sont des termes de base.*

Exemple 2 *Considérons les états du monde suivants :*
- *$s_0 = \{\mathit{Agent}(a), \mathit{Agent}(b), \mathit{Info}(i), \mathit{Recoit}(a, i), \mathit{Theme}(i, T), \mathit{NiveauRequis}(b, i), \mathit{Informe}(a, b, i)\}$ [5]*
- *$s_1 = \{\mathit{Agent}(a), \mathit{Agent}(b), \mathit{Info}(i), \mathit{Recoit}(a, i), \mathit{Theme}(i, T), \mathit{Informe}(a, b, i)\}$ [6]*

Supposons que l'ensemble des contraintes d'intégrité IC soit vide. Considérons la politique ρ_0 de l'exemple 1. On peut alors dire que :
- *l'agent a est en accord avec ρ_0 dans s_0 par rapport à IC car b et i sont les seuls termes de*

5. Remarquons que seuls les littéraux positifs sont explicités dans les états du monde. Ainsi, $\neg(a = b)$ est bien un élément de s_0.

6. Même remarque que dans la note précédente :, $\neg\mathit{NiveauRequis}(b, i)$ est un élément de s_1.

base tels que $\rho_0, s_0, IC \vdash OInforme(a,b,i)$ et on a bien $\rho_0, s_0, IC \vdash Informe(a,b,i)$. [7]
– *l'agent a n'est pas en accord avec ρ_0 dans s_1 par rapport à IC à cause du couple $\langle b,i\rangle$. En effet, $\rho_0, s_1, IC \vdash FInforme(a,b,i)$ et pourtant $\rho_0, s_1, IC \vdash Informe(a,b,i)$.*

3.4 Conflits entre politiques

Dans cette section, nous formalisons la notion de conflits entre deux politiques d'échange d'informations.

Définition 22 (Tuple conflictuel) *Soient IC l'ensemble des contraintes d'intégrité, s un état du monde cohérent avec IC, ρ_1 et ρ_2 deux politiques d'échange d'informations toutes deux cohérentes dans s par rapport à IC.*
Le tuple $\langle a,b,i\rangle$ de termes de base est dit conflictuel entre ρ_1 et ρ_2 dans l'état du monde s par rapport à IC ssi
$\rho_1, s, IC \vdash \Box_1 Informe(a,b,i)$ et $\rho_2, s, IC \vdash \Box_2 Informe(a,b,i)$
avec $(\Box_1, \Box_2) \in \{(O,P),(O,F),(P,O),(P,F),(F,O),(F,P)\}$.

Définition 23 (Politiques conflictuelles) *Les politiques ρ_1 et ρ_2 sont dites conflictuelles dans l'état du monde s par rapport à IC lorqu'il existe au moins un tuple conflictuel dans s par rapport à IC.*

Proposition 2 *Soient s un état du monde et ρ_1 et ρ_2 deux politiques d'échange cohérentes dans s par rapport à IC. Les politiques ρ_1 et ρ_2 sont conflictuelles dans s par rapport à IC ssi la politique d'échange $\rho_1 \bigcup \rho_2$ est incohérente dans s par rapport à IC.*

[FIXME: Faire preuve]

Ainsi, d'après la définition précédente, si deux politiques sont conflictuelles dans un monde cohérent avec des contraintes données, il existe dans ce monde un agent a dont l'action d'informer un autre agent b de l'information i est à la fois obligatoire et interdite, ou obligatoire et optionnelle, ou interdite et optionnelle. Par conséquent, pour l'action d'informer b de i, l'agent a est face à une contradiction logique : $Informer(a,b,i)$ est à la fois obligatoire et non obligatoire. Et donc a ne peut pas être en accord avec les deux politiques à la fois.

La question des réglementations conflictuelles a déjà été abordée, dans le cas propositionnel, dans [2]. Il a été montré que, parmi toutes les méthodes de gestion de conflits, la seule méthode qui avait du sens était celle qui consistait à exprimer une priorité entre les réglementations conflictuelles. Nous reprenons cette idée ici et l'adaptons dans le cas des politiques d'échange conflictuelles.

Définition 24 (Priorité à une politique) *Soient s un état du monde et $Agent(a)$ un élément de s. Soient ρ_1 et ρ_2 deux politiques d'échange d'information cohérentes dans s par rapport à IC. On dit que ρ_1 est prioritaire par rapport à ρ_2 pour l'agent a dans s pour IC ssi pour tout tuple conflictuel entre ρ_1 et ρ_2 dans s par rapport à IC, l'agent a est en accord avec ρ_1 pour ce tuple dans s par rapport à IC.*

La priorité d'une politique ρ_1 par rapport à une autre politique ρ_2 pour un agent a consiste donc à faire en sorte qu'en cas de conflit entre ces deux politiques, l'agent a obéisse à ρ_1.

4 La coopération : une politique d'échange particulière

Nous présentons maintenant la notion de coopération et en proposons une modélisation en terme de politique d'échange.

4.1 Définition de la coopération

De nombreux travaux portent sur la notion de coopération. Plus précisément, les maximes de Grice ([8]) qui décrivent un échange coopératif entre deux agents ont été formalisées dans de nombreux travaux ([9, 4, 16, 1, 10]) [FIXME: Vérifier !] . Dans [15], nous faisons un état de l'art des travaux traitant de la coopération et proposons plusieurs définitions formelles de cette notion, toutes étant basées sur la notion d'utilité des informations pour les agents, également définie dans ces travaux. Une de ces définitions peut être décrite de la manière suivante : l'agent a est coopératif vis-à-vis de l'agent b si et seulement si l'ensemble des informations échangées de a vers b est exactement l'ensemble des informations que a juge être utiles pour l'agent b.

7. Remarquons qu'il n'existe aucun couple de termes de base (b', i') tels que $\rho_0, s_0, IC \vdash FInforme(a, b', i')$.

Il est possible d'affaiblir quelque peu cette définition :

Définition 25 (Agent coopératif (informel)) *Un agent a est coopératif vis-à-vis d'un agent b si et seulement s'il informe b des informations qu'il juge être utiles pour celui-ci et il n'informe pas b des informations qu'il juge ne pas être utiles pour celui-ci.*

[FIXME: ajouter exemple illustratif]

Notons que le but de ce papier n'est pas de travailler sur la définition de la coopération en tant que telle mais sur la forme avec laquelle nous la traitons. <S> ~~La coopération présentée ici est basée sur la notion d'utilité d'une information.~~ <S>

4.2 Modélisation de la coopération

Considérons deux prédicats particuliers :

- $\mathit{CroitUtile}(x, y, z)$ qui signifie que l'agent x croit que l'information z est utile pour l'agent y
- $\mathit{CroitPasUtile}(x, y, z)$ qui signifie que l'agent x ne croit pas que l'information z est utile pour l'agent y.

Pour modéliser le fait que les agents ne peuvent avoir de croyances incohérentes quant à l'utilité d'une information pour un autre, nous supposons que la formule suivante, notée (BD), appartient à l'ensemble des contraintes d'intégrité :

$$\forall x, y, z,$$
$$\neg \mathit{CroitUtile}(x, y, z) \wedge \neg \mathit{CroitPasUtile}(x, y, z)$$

Définition 26 (Politique de coopération) *On appelle politique de coopération la politique d'échange d'informations composée des trois règles suivantes :*

(CO) $\forall x, y, z, \mathit{Agent}(x) \wedge \mathit{Agent}(y) \wedge \neg(x = y)$
$\wedge\ \mathit{Info}(z) \wedge \mathit{CroitUtile}(x, y, z)$
$\rightarrow O\mathit{Informe}(x, y, z)$

(CF) $\forall x, y, z, \mathit{Agent}(x) \wedge \mathit{Agent}(y) \wedge \neg(x = y)$
$\wedge\ \mathit{Info}(z) \wedge \mathit{CroitPasUtile}(x, y, z)$
$\rightarrow F\mathit{Informe}(x, y, z)$

(CP) $\forall x, y, z, \mathit{Agent}(x) \wedge \mathit{Agent}(y) \wedge \neg(x = y)$
$\wedge\ \mathit{Info}(z) \wedge \neg \mathit{CroitPasUtile}(x, y, z)$
$\wedge\ \neg \mathit{CroitUtile}(x, y, z) \rightarrow P\mathit{Informe}(x, y, z)$

Cette politique est notée ρ_{coop}.

On peut remarquer que les trois règles ci-dessus décrivent exactement l'agent coopératif présenté dans la définition 25. Ainsi, le caractère coopératif d'un agent peut être vu comme le fait qu'il soit en accord avec la politique de coopération. Autrement dit, être coopératif, c'est être obéissant à cette politique de coopération. Dans la suite de cet article, nous confondrons les termes *coopératif dans un état du monde s* et *en accord avec ρ_{coop} dans s.*

Exemple 3 *Nous reprenons le langage défini dans l'exemple 1. Cette fois-ci, IC contient la règle (BD). Considérons les états du monde suivants[8] :*

- $s_2 = \{\mathit{Agent}(a), \mathit{Agent}(b), \mathit{Info}(i), \mathit{CroitUtile}(a, b, i), \mathit{Informe}(a, b, i)\}$
- $s_3 = \{\mathit{Agent}(a), \mathit{Agent}(b), \mathit{Info}(i), \mathit{CroitPasUtile}(a, b, i), \mathit{Informe}(a, b, i)\}$

L'agent a est coopératif dans s_2 par rapport à IC car $\rho_{coop}, s_2, IC \vdash O\mathit{Informe}(a, b, i)$ et on a bien $\rho_{coop}, s_2, IC \vdash \mathit{Informe}(a, b, i)$[9]. Par contre, il n'est pas coopératif dans s_3 par rapport à IC car $\rho_{coop}, s_3, IC \vdash F\mathit{Informe}(a, b, i)$ et $\rho_{coop}, s_3, IC \vdash \mathit{Informe}(a, b, i)$.

Nous pouvons remarquer que pour tout tuple $\langle a, b, i\rangle$, il existe une règle de ρ_{coop} qui indique s'il est obligatoire, interdit ou optionnel d'informer. C'est ce que nous appelons dans [7] une politique *complète*. La complétude de ρ_{coop} vient du fait que pour tout tuple $\langle a, b, i\rangle$, une et une seule des préconditions des trois règles

8. Notons que ces états sont bien cohérents avec IC.

9. Notons que $\langle a, b, i\rangle$ est le seul tuple pour lequel une règle de ρ_{coop} peut être appliquée.

(CO), (CP) et (CF) est vraie. Autrement dit, étant donnés deux agents a et b et une information i, un et un seul des cas suivants est vrai :
– a croit que i est utile pour b
– a croit que i n'est pas utile pour b
– a ne sait pas si i est utile pour b

5 Etre coopératif et obéissant

5.1 Modélisation formelle de la problématique

Nous étudions maintenant le cas dans lequel les agents doivent être à la fois coopératifs et obéissants à une politique d'échange d'information. Pour cela, nous appelons π la politique d'échange d'informations que les agents sont tenus de respecter [10].

Nous avons vu que le caractère coopératif d'un agent se traduit par son obéissance à ρ_{coop}. Ainsi, demander aux agents d'obéir à π et d'être coopératif revient à leur demander de respecter les deux politiques d'échange d'informations π et ρ_{coop}.

Pour un tuple de termes donnés $\langle a, b, i\rangle$, on notera $coop_{s,IC}(a, b, i)$ (resp. $pol_{s,IC}(a, b, i)$) pour représenter le fait que l'agent a est en accord avec ρ_{coop} (resp. π) dans le monde s par rapport à IC pour le tuple $\langle a, b, i\rangle$.

Dans certains systèmes, les politiques π et ρ_{coop} sont conflictuelles. Par exemple, il peut être obligatoire (par la politique d'échange) d'envoyer une information non-utile (et donc être non-coopératif) ou il peut être interdit (pour des raisons de confidentialité) de transmettre des informations qui sont pourtant utiles.

Pour gérer ces conflits, les agents doivent donc donner la priorité à une des deux politiques d'échange : les agents sont soit prioritairement obéissants (ils donnent la priorité à la politique π), soit prioritairement coopératifs (ils donnent la priorité à la politique de coopération ρ_{coop}). Dans la suite de cette partie, nous traitons successivement ces deux cas.

5.2 Priorité à la politique π

Dans cette partie, nous nous plaçons dans un état du monde s et nous supposons que $Agent(a)$ appartient à s. Supposons que l'agent a considère que la politique π est prioritaire. Nous regardons alors dans quel cas nous pouvons qualifier cet agent de *coopératif*.

Considérons le tuple $\langle a, b, i\rangle$, dans lequel b et i sont des termes. En considérant que π est prioritaire et en étant en accord avec celle-ci, le fait qu'un agent soit coopératif ou non-coopératif est parfois contraint, notamment dans les deux cas suivants :
– lorsque π et ρ_{coop} prescrivent la même position normative alors en étant en accord avec π, a est également en accord avec ρ_{coop} et donc coopératif
– lorsque π et ρ_{coop} prescrivent respectivement l'obligation et l'interdiction d'informer (ou inversement l'interdiction et l'obligation), alors en étant en accord avec π, a est en désaccord avec ρ_{coop} et donc non-coopératif.

On peut voir que dans ces deux cas, l'agent a ne "choisit pas" d'être coopératif ou non-coopératif. La coopération ou non-coopération est contrainte par l'obéissance à π.

Lorsque ρ_{coop} prescrit l'optionnalité de l'envoi alors quelle que soit l'attitude mise en œuvre par l'agent a, il est coopératif. Dans ce cas non plus, a ne choisit pas vraiment d'être coopératif puisqu'il l'est toujours.

Lorsque π ne prescrit rien par rapport au tuple $\langle a, b, i\rangle$ ou lorsque qu'elle prescrit l'optionnalité de l'envoi, alors quelle que soit l'attitude de a, il est en accord avec π. Cette fois-ci, l'agent a peut donc choisir de mettre en œuvre l'attitude qui le fait être en accord avec ρ_{coop}. Plus précisément, il informe si ρ_{coop} prescrit une obligation d'informer et il n'informe pas si ρ_{coop} prescrit une interdiction d'informer.

Toutes ces situations sont présentées sur la table 1.

La seule *marge de manœuvre* de l'agent a pour choisir d'être coopératif ou non correspond à la dernière situation décrite (qui correspond également aux deux dernières colonnes de la table 1). C'est donc dans ce cas oprécis que la caractère coopératif d'un agent s'exprime vraiment lorsqu'il doit également être obéissant. C'est ce que nous appelons être *coopératif sous contrainte*.

Définition 27 (Coopératif sous contrainte) *Soit s un état du monde qui contient $Agent(a)$. π est une politique d'échange et ρ_{coop} la politique de coopération. Supposons que a donne*

10. Dans le cas où les agents seraient soumis à plusieurs politiques d'échange d'informations, π représente la fusion ou l'aggrégation de celles-ci. La fusion de réglémentations est étudiée dans [2].

la priorité à la politique π dans s et pour IC. On dit alors que a est coopératif sous contrainte *(dans s et pour IC) ssi pour tout couple $\langle b, i\rangle$ où b et i sont des termes :*
si $s, \pi, IC \nvdash OInforme(a, b, i)$ et $s, \pi, IC \nvdash FInforme(a, b, i)$ [11] *alors l'agent a est en accord avec ρ_{coop} dans s pour $\langle b, i\rangle$ par rapport à IC.*

[FIXME: relire exemple]

Exemple 4 *Dans cet exemple, nous prendrons la politique ρ_0 définie dans l'exemple 1 comme politique d'échange d'informations régissant les communications du système. Considérons l'état du monde suivant :*
$s_4 = \{Agent(a), Agent(b), Info(i_1), Recoit(a, i_1), NiveauRequis(b, i_1), Theme(i_1, T), CroitPasUtile(a, b, i_1), Informe(a, b, i_1), Info(i_2), Recoit(a, i_2), NiveauRequis(b, i_2), CroitUtile(a, b, i_2), Informe(a, b, i_2)\}$
On peut noter que ρ_{coop} et π sont toutes deux cohérentes dans s_4 par rapport à IC. Supposons que l'agent a considère que la politique π est prioritaire sur ρ_{coop} dans s_4 et pour IC.
Regardons dans un premier temps l'attitude de l'agent a pour le couple $\langle b, i_1\rangle$.
On a $\rho_0, s_4, IC \vdash OInforme(a, b, i_1)$ et $\rho_{coop}, s_4, IC \vdash FInforme(a, b, i_1)$. Le tuple $\langle a, b, i_1\rangle$ est conflictuel pour s_4. On a $\rho_0, s_4, IC \vdash Informe(a, b, i_1)$, ce qui correspond bien au fait que ρ_0 soit prioritaire. Cela signifie également que l'agent a est non-coopératif dans s_4 pour le couple $\langle b, i_1\rangle$. Cependant, sur ce cas, cette attitude est contrainte par l'obéissance à ρ_0.
Regardons maintenant l'attitude de a pour le couple $\langle b, i_2\rangle$. On a $\rho_0, s_4, IC \vdash PInforme(a, b, i_2)$ et $\rho_{coop}, s_4, IC \vdash OInforme(a, b, i_2)$. Le tuple $\langle a, b, i_2\rangle$ est également conflictuel pour s_4. On a $\rho_0, s_4, IC \vdash Informe(a, b, i_2)$. L'agent a est donc en accord avec π dans s_4 pour $\langle b, i_2\rangle$. Il est également en accord avec ρ_{coop} donc coopératif dans s_4 pour $\langle b, i_2\rangle$.
Ainsi, dans s_4, on ne peut pas dire que l'agent a soit coopératif car il n'est pas en accord avec ρ_{coop} pour $\langle b, i_1\rangle$. Cependant, lorsque la politique ρ_0 le permet, a est en accord avec ρ_{coop}. L'agent a est donc coopératif sous contrainte dans s_4.

11. On peut noter que si $s, \pi, IC \nvdash OInforme(a, b, i)$ et $s, \pi, IC \nvdash FInforme(a, b, i)$ alors soit $s, \pi, IC \nvdash PInforme(a, b, i)$ soit aucune règle de π ne s'applique à $\langle a, b, i\rangle$ dans s.

5.3 Priorité à la politique ρ_{coop}

Nous pouvons procéder de même en supposant que l'agent a est prioritairement coopératif.

Les différents cas sont présentés sur la table 2.

On peut alors définir la notion d'agent *obéissant sous contrainte* :

Définition 28 (Obéissant sous contrainte) *Soit s un état du monde qui contient $Agent(a)$. π est une politique d'échange et ρ_{coop} la politique de coopération. Supposons que a donne la priorité à la politique ρ_{coop}. On dit alors que a est* obéissant sous contrainte *ssi pour tout tuple $\langle a, b, i\rangle$ où b et i sont des termes :*
si $s, \rho_{coop} \nvdash OInforme(a, b, i)$ et $s, \rho_{coop} \nvdash FInforme(a, b, i)$ alors l'agent a est en accord avec π dans s pour $\langle a, b, i\rangle$.

[FIXME: ajouter exemple]

6 Conclusion

La première contribution de ce papier est l'approche originale pour traiter du caractère coopératif d'un agent. En effet, un agent est coopératif si et seulement s'il obéit à une politique d'échange d'informations particulière que nous appelons politique de coopération.

Cette approche nous permet de traiter de manière très simple le cas où les agents sont tenus d'être obéissants à une politique d'échange d'informations existante et coopératifs dans un système multiagents. En effet, la problématique se ramène à la gestion de conflits entre deux politiques d'échange d'information. Ceci constitue la deuxième contribution de cet article. Nous pouvons alors définir ce que signifie être coopératif ou obéissant (que nous appelons coopératif sous contrainte et obéissant sous contrainte) lorsque les agents sont soumis aux deux politiques d'échange d'information.

<S> Extensions ? ? <S>

Ce travail peut être étendu de plusieurs manières.

Tout d'abord, nous nous sommes intéressés dans cet article à une définition particulière de la coopération qui s'adaptait plutôt bien à la forme de politique d'échnage. Etant donnée une autre définition de celle-ci, par exemple dans ? ?, il serait intéressant de voir comment traduire la coopération en terme de poltiique d'échange.

[FIXME: A reformuler ! !]

[FIXME: Trouver autre extension ! !]

Références

[1] Philippe Bretier. *La communication orale coopérative : contribution à la modélisation logique et à la mise en œuvre d'un agent rationnel dialoguant*. PhD thesis, Université de Paris 13, Villetaneuse, France, 1995.

[2] L. Cholvy and F. Cuppens. Reasoning about norms provided by conflicting regulations. In P. McNamara and H. Prakken, editors, *Norms, logics and information systems : new studies in deontic logic and computer science*, volume 49 of *Frontiers in artificial intelligence and applications*, pages 247–262. IOS Press, Amsterdam, 1999.

[3] L. Cholvy, C. Garion, and C. Saurel. Modélisation de réglementations pour le partage d'informations dans un SMA. In *Modèles Formels de l'Interaction*, 2007.

[4] Frédéric Cuppens and Robert Demolombe. Extending answers to neighbour entities in a cooperative answering context. *Decis. Support Syst.*, 7(1) :1–11, 1991.

[5] R. Demolombe. Syntactical characterization of a subset of domain independent formulas. *Journal of the Association for Computer Machinery*, 39(1) :71–94, 1982.

[6] M. Fitting and R. L. Mendelsohn. *First-order modal logic*. Kluwer Academic, 1999.

[7] Christophe Garion, Stéphanie Roussel, and Laurence Cholvy. Une logique modale pour raisonner sur la cohérence et la complètude de réglementations. In *Revue RSTI - Revue d'Intelligence Artificielle*, volume 24, pages 267–290. Lavoisier, 2010.

[8] H. P. Grice. Logic and conversation. In Peter Cole and Jerry L. Morgan, editors, *Syntax and semantics*, volume 3, pages 41–58. New York : Academic Press, 1975.

[9] Jeroen Groenendijk. The logic of interrogation : classical version. In Tanya Matthews and Devon Strolovitch, editors, *SALT IX : Semantics and Linguistic Theory*, pages 109–126, Ithaca, 1999. Cornell University Press.

[10] Andreas Herzig and Dominique Longin. A logic of intention with cooperation principles and with assertive speech acts as communication primitives. In *Proc. AAMAS 2002*, pages 920–927. ACM Press, 2002.

[11] S. Kanger. Law and logic. *Theoria*, (38), 1972.

[12] Saul Kripke. A semantical analysis of modal logic i, normal propositional calculi. *Zeitschrift für mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik*, 9 :63–96, 1963.

[13] Saul Kripke. Semantical considerations on modal logic. *Acta Philosophica Fennica*, 16 :83–94, 1963.

[14] L. Lindahl. *Position and Change - a Study in Law and Logic*. Number 112 in Synthese Library. D. Reidel, 1977.

[15] Stéphanie Roussel. *Apports de la logique mathématique pour la modélisation de l'information échangée dans des systèmes multiagents interactifs*. PhD thesis, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, travaux réalisés à l'ONERA, DTIM, Toulouse, 2010. Thèse dirigée par Laurence Cholvy, financée par la Direction Générale de l'Armement.

[16] David Sadek. De nouvelles perspectives pour l'ergonomie des interactions personne-machine : dialogue naturel et agents intelligents. In *Actes du workshop sur l'ergonomie et l'informatique avancée (Ergo'IA)*, 2004.

		Politique π			
		Obligation	Interdiction	Optionnalité	Pas de règle
Pol. ρ_{coop}	Obligation	$coop_s$	$\neg coop_s$	$coop_s$ *ssi* $Inf(a,b,i)$	$coop_s$ *ssi* $Inf(a,b,i)$
	Interdiction	$\neg coop_s$	$coop_s$	$\neg coop_s$ *ssi* $Inf(a,b,i)$	$\neg coop_s$ *ssi* $Inf(a,b,i)$
	Optionnalité	$coop_s$	$coop_s$	$coop_s$	$coop_s$
	Pas de règle	impossible	impossible	impossible	impossible

TABLE 1 – Priorité pour la politique π

		Politique π			
		Obligation	Interdiction	Optionnalité	Pas de règle
Pol. ρ_{coop}	Obligation	pol_s	$\neg pol_s$	pol_s	impossible
	Interdiction	$\neg pol_s$	pol_s	pol_s	impossible
	Optionnalité	pol_s *ssi* $Inf(a,b,i)$	$\neg pol_s$ *ssi* $Inf(a,b,i)$	pol_s	impossible
	Pas de règle	pol_s *ssi* $Inf(a,b,i)$	$\neg pol_s$ *ssi* $Inf(a,b,i)$	pol_s	impossible

TABLE 2 – Priorité pour la politique ρ_{coop}