

## PROPOSITION D'UN MODELE COGNITIF DU CONTEXTE

Arnaud Kohler

LIM URA CNRS 1787

39, rue Joliot Curie 13 453 MARSEILLE cedex 13

e-mail : kohler@gyptis.univ-mrs.fr

### Résumé

Nous présentons un formalisme de représentation de la connaissance, la logique contextuelle LC. Basée sur la conception de dicto, elle assure la consistance axiomatique de tout ensemble de formules, en imposant une restriction syntaxique à l'ensemble des formules bien formées de la logique propositionnelle LP. La fonction d'interprétation de LP est utilisée pour définir une sémantique adaptée à la nouvelle syntaxe.

La souplesse de représentation de LC nous permettra d'élaborer un modèle cognitif, conçu sur la gestion dynamique d'une relation épistémique sur les formules. L'idée du processus est de restreindre la base de connaissances à un sous-ensemble pertinent (le contexte d'interprétation sémantique) qui évolue à chaque instant en fonction de l'histoire du système.

### 1. Introduction

Depuis quelques dizaines d'années, le développement des études sur la représentation des connaissances dans le cadre de l'Intelligence Artificielle (IA) a montré la nécessité de rechercher de nouveaux modes d'expressions formels.

L'IA concerne toute discipline dont le but est de modéliser les connaissances et/ou les croyances et les processus de réflexion des humains, en vue d'une simulation informatique. Elle se situe donc au carrefour de trois disciplines de recherche :

- elle nécessite l'étude et le développement de langages formels (mathématiques) pour modéliser le mode d'expression des humains,
- l'automatisation (informatique) est son but final,
- les propositions sur les lois générales de l'acquisition, la représentation et l'exploitation de la connaissance (psychologie cognitive) sont autant de voies de recherches à étudier, par l'élaboration de structures formelles adéquates.

Un des problèmes majeurs de l'IA est la représentation et l'exploitation des connaissances avec exceptions. Par exemple, si l'on sait :

*Tweety est un oiseau,  
La plupart des oiseaux volent,*

un formalisme classiquement monotone ne pourra inférer *Tweety vole* que s'il est sûr que Tweety ne relève pas d'un cas exceptionnel (une autruche, un pingouin ou un cagou, par exemple) : un formalisme monotone nécessite de savoir explicitement que *Tweety n'est pas un oiseau qui ne vole pas* pour

permettre l'extension de la connaissance à *Tweety vole*. Un tel formalisme vérifie<sup>1</sup> :

$$\text{QS } F_1, \text{QS } F_2, \text{QS } f, \text{ on a : } F_1 \text{ |- } f \Rightarrow (F_1 \cup F_2) \text{ |- } f$$

Cette formule exprime le fait que si une connaissance  $f$  est produite à partir d'un ensemble de connaissances  $F_1$ , alors aucune nouvelle information  $F_2$  ne peut remettre  $f$  en question. Cette propriété semble rendre impossible la remise en cause d'une connaissance dans le cadre d'un langage formel. Or les humains font souvent des raisonnements par défauts et révisables, à partir d'une base de connaissances incomplètes.

Pour tenter de modéliser cela, les formalismes non monotones étendent la capacité d'expression du langage formel, pour exprimer *la manière d'être* ([Dub]) d'une formule dans le domaine d'interprétation : est-elle valide dans tout contexte, ou ne l'est elle que par rapport à un contexte spécifique ? Est-elle possible ? Est-elle vraisemblable ? La prise en compte de ces données sémantiques permettrait d'inférer *Tweety vole* dès l'instant où rien ne permet d'affirmer explicitement le contraire : l'extension de la connaissance se fait par intention. Un tel formalisme vérifie<sup>2</sup> :

$$\text{EX } F_1, \text{EX } F_2, \text{EX } f \text{ tels que : } \\ F_1 \text{ |- } f \text{ et non}((F_1 \cup F_2) \text{ |- } f)$$

La contrepartie est que l'extension de la connaissance n'est plus déterminée de façon exclusive : l'arrivée d'une nouvelle information peut la remettre en question - on apprend par la suite que *Tweety est une autruche*, par exemple - ce qui nécessite la conception d'un processus de révision capable de faire un choix entre des connaissances contradictoires. Il doit pouvoir répondre à des questions comme :

*Est-il vrai que la plupart des oiseaux volent ?  
Les autruches sont-elles vraiment des oiseaux ?*

<sup>1</sup> L'expression QS  $F$  se lit : *quel que soit F*.

L'expression  $F \cup G$  se lit : *F union G*.

L'expression  $F \text{ |- } f$  se lit : *F produit f*.

<sup>2</sup> L'expression EX  $F$  se lit : *il existe au moins un F*.

Ou même éventuellement :

*Tweety n'est il pas une autruche qui vole ?*

La **théorie de la révision** est l'étude des processus permettant le passage d'une base de connaissances à une autre, compte tenu de l'ajout d'une information.

On reconnaît usuellement deux familles logiques, établies suivant deux conceptions opposées : la conception *de re*, pour laquelle :

*les prédicats se rapportent à la nature de la chose dont on parle,*

et la conception *de dicto*, pour laquelle :

*les prédicats déterminent la nature du dictum, de la proposition qui est dite.*

La plupart des formalismes existant relèvent de la conception *de re*. De manière très intuitive et informelle, elle peut s'exprimer par :

**Thèse 1** *Un état de chose et sa représentation formelle ont, via le langage d'expression, des "comportements équivalents".*

Les défenseurs des approches *de dicto* remettent cette thèse en cause, en avançant le résultat suivant - selon une interprétation des écrits de L. Wittgenstein ([Wit61]) :

**Thèse 2** *Une expression formelle est une transposition d'un état de chose : elle décrit un état de chose, mais elle n'est pas l'état de chose qu'elle décrit.*

Par exemple, un tableau peint peut être décrit par un ensemble de formules. Cette thèse affirme qu'il n'y a pas équivalence entre le tableau et sa représentation, quand bien même la description serait idéalement complète et parfaite : rien ne peut, dans l'absolu, remplacer le tableau initial.

La différence fondamentale entre les approches *de re* et *de dicto* est dans l'appréhension, par rapport à la phrase :

[1] "Si  $a$  alors  $b$ "  
(form.  $a \rightarrow b$ )

de l'expression :

[2] " Nécessairement, si  $a$  alors  $b$  "  
(form.  $N(a \rightarrow b)$ )

Dans les approches *de re*, la modalité  $N$  est interprétée comme un opérateur qui transforme les prédicats en d'autres prédicats : une formule **est** l'état de chose qu'elle représente. A partir de [2], une telle conception permet la production de [3] :

[3] " Si nécessairement  $a$ , alors nécessairement  $b$  "  
(form.  $N a \rightarrow N b$ )

Cette conception bénéficie, depuis les travaux de S.A. Kripke ([Kri71], [Kri72]), des faveurs de la communauté scientifique informatique. S.A. Kripke lui a apportée une

justification philosophique, qui reprend l'argumentation leibnizienne ([Lei]) du **monde clos** :

*Tout l'univers avec toutes ses parties serait tout autre [...] si la moindre chose y allait autrement qu'elle ne va.*

Si on représente la connaissance comme un ensemble de **mondes possibles** (schématisant chacun une vision vraisemblable de l'univers considéré), chaque individu doit être considéré comme unique dans chaque monde, ne possédant que des **répliques** dans les autres ([Lew68]).

La conséquence majeure de cette argumentation est que, dans chaque monde, chaque élément est dépendant entièrement et exclusivement des autres éléments. Cette proposition entraîne l'équivalence entre une connaissance et sa représentation formelle (qui modélise les liens entre les éléments). Elle justifie la sémantique de Kripke (dite des **mondes possibles**), et, *a fortiori*, les approches *de re*.

L'argumentation de Kripke, présentée succinctement ici, peut laisser perplexe : elle évacue de nombreuses conceptions sur la connaissance, sans apporter d'arguments définitivement convaincants.

Les défenseurs de la conception *de dicto* généralisent l'utilisation de la thèse 2. Ils affirment qu'il n'y a pas équivalence entre les deux expressions "Si  $a$  alors  $b$ " et  $a \rightarrow b$ . [2] doit donc s'écrire :

[2'] "Nécessairement, "Si  $a$  alors  $b$ ""  
(form.  $N$ "Si  $a$  alors  $b$ ")

Nous traduisons cela par :

*Un état de chose ne peut être modélisé que par une proposition atomique,*

qui est indivisible. Ceci rend caduque la recherche de tout lien de cause à effet entre [2'] et [3] : la portée de la modalité se limite à l'objet qu'elle caractérise, puisqu'il n'y a pas équivalence entre "Si  $a$  alors  $b$ ", une proposition atomique, qui a un contenu sémantique "naturel", et  $a \rightarrow b$  une formule, à laquelle ne peut être rattaché aucun contenu sémantique "naturel".

Classiquement, les connaissances sont représentées par un ensemble de formules  $F$ . Une connaissance est alors considérée comme vraie lorsque sa représentation formelle appartient à  $F$ , ou peut être produite à partir de  $F$ . L'hypothèse *de re* justifie une telle démarche.

La conception *de dicto* remet cette hypothèse en cause, et par conséquent la capacité des langages formels à modéliser les connaissances. Pour pallier ce problème, nous allons tenter de concevoir un langage formel *de dicto*. Nous utiliserons, pour cela, le résultat suivant, qu'on peut considérer comme une conséquence de la philosophie cartésienne ([Des67]) :

**Thèse 3** *Un système intelligent n'a aucune certitude absolue.*

Cette thèse affirme qu'un ensemble de formules ne peut pas exprimer la validité d'une connaissance. La

thèse 2 n'infirme pas le fait qu'une formule peut être *logiquement* interprétée comme **Vraie**, et donc qu'un ensemble de connaissances peut être représenté par un ensemble de formules.

D'autre part, la thèse 3 affirme qu'une proposition atomique ne peut pas admettre d'interprétation (du moins par rapport au domaine d'interprétation classique : il n'est pas possible d'affirmer qu'elle est vraie ou qu'elle est fausse) : un ensemble de formules représentant un ensemble de connaissances ne produit donc pas de proposition atomique. On obtient le paradoxe suivant :

*Un ensemble de connaissances est modélisable par un ensemble de formules. Mais une formule ne modélise pas une connaissance<sup>3</sup>.*

Le troisième résultat que nous comptons utiliser est:

**Thèse 4** *Un agent intelligent est conscient de ces trois postulats.*

Cette thèse est fondamentale, parce qu'elle affirme que les thèses 2 et 3 doivent obligatoirement être vérifiées par le langage formel, qui est le seul moyen d'expression du système. Cela lui permettrait d'être conscient d'avoir une représentation déformée de la réalité.

Remarquons qu'utiliser un méta-langage (exprimant la conscience du langage) ne pourrait être qu'un palliatif insuffisant : cela reporterait le problème à un niveau supérieur de représentation, sans le résoudre pour autant. Il faudrait un méta-méta-langage exprimant la conscience du méta-langage, et de même un méta-méta-méta-langage...

La conception *de dicto* fait figure de parente pauvre en Intelligence Artificielle, et cela bien que, pour reprendre l'expression de J.P. Dubucs ([Dub] - Cf. aussi [Qui53]) :

*les conclusions qu'elle (la conception de dicto) propose sont dévastatrices.*

Elle a rarement, à notre connaissance, fait l'objet d'une véritable application. Nous allons tenter de combler ce manque, en concevant un langage formel qui vérifie les thèses 2, 3 et 4. Pour cela, nous proposons d'établir un lien entre représentation formelle (formule) et représentation sémantique (proposition atomique) par :

**Définition 1** *Soit un langage formel  $L$ . Soit  $C$  symbolisant un état de chose (au sens de L. Wittgenstein - [Wit]). Soit  $f$  la formule donnée pour modéliser  $C$  dans  $L$ .*

*On définit le langage formel  $L'$  par adjonction à l'ensemble des variables propositionnelles de  $L$  de la nouvelle variable propositionnelle  $C$ , pour  $\models_{L'}$ <sup>4</sup> définie par extension de  $\models_L$  à la relation :*

$$C \models_L f$$

<sup>3</sup> Pour être précis, il serait nécessaire d'établir à ce stade des définitions formelles pour les termes **croiance** et **connaissance**. Nous les proposerons dans la seconde section. Jusque-là, ils seront utilisés de manière "classique".

<sup>4</sup> L'expression  $F \models f$  se lit :  $f$  est vrai dans  $F$ .

Cet expression permet, en distinguant un état de chose ([Wit])  $C$  de la formule  $f$  qui le modélise, d'élaborer un langage qui, implicitement, répond à la thèse 4, bien que celle-ci ne soit pas explicitement formulée dans le langage. En effet, l'agent intelligent :

- ne mémorise pas  $f$ , car d'après les thèses 2 et 4, il *sait* qu'elle n'a pas de sens sémantique "naturel" (mais uniquement un sens formel),
- et ne mémorise pas l'affirmation  $C$  est vrai ou l'affirmation  $C$  est faux, car d'après les thèses 3 et 4, il *sait* qu'il ne peut être sûr ni de l'une ni de l'autre.

Il mémorise la connaissance qu'il a d'avoir traduit formellement  $C$  par  $f$  : c'est son unique certitude. Le fait que  $f$  soit obtenu à partir de  $C$  explique l'utilisation de la règle de validité  $\models_{L'}$  ; Nous modélisons ainsi l'affirmation de L. Wittgenstein ([Wit]) :

*Nous ne devons pas dire : "Le signe complexe  $aRb$  dit que "a se trouve dans la relation  $R$  avec  $b$ ", mais : "Que "a se trouve dans une certaine relation  $R$  à  $b$ " dit que  $aRb$ ".*

**Remarque** La définition 1 entraîne un changement fondamental dans le statut de  $C$  : d'état de chose extérieur au langage  $L$ , il devient une variable propositionnelle du langage  $L'$ . Nous présenterons au paragraphe 2.2 la solution (d'ordre sémantique) proposée par le formalisme contextuel pour résoudre les problèmes que ce changement peut apporter.

Le plan de cet article est le suivant : dans la section 2, nous présentons la logique contextuelle, formalisme de représentation de la connaissance issu de la définition 1. Dans la section 3, nous l'étudions dans le cadre des sciences cognitives, et nous présentons le modèle cognitif qu'elle nous a permis d'élaborer et d'implémenter.

## 2. La logique contextuelle

La logique contextuelle, notée  $LC$ , est une restriction syntaxique à un sous-ensemble de l'ensemble des formules bien formées de la logique propositionnelle  $LP$ . Les axiomatiques de  $LC$  et de  $LP$  sont équivalentes. La sémantique de  $LC$  est élaborée à partir de la fonction d'interprétation de  $LP$ .

**Remarque** Pour des raisons de simplicité et d'effectibilité,  $LC$  est présentée à partir de  $LP$ . Toutefois, n'importe quel autre langage classique peut, théoriquement, être étendu contextuellement.

### 2.1. Syntaxe et axiomatique

Le langage, la syntaxe et l'axiomatique de  $LC$ , sont ceux de  $LP$ . L'ensemble infini dénombrable des variables propositionnelles, noté  $P$ , est décomposé en une infinité d'ensembles infinis dénombrables disjoints de variables propositionnelles, notés  $P_i$ , pour  $i \in \mathbb{N}$ <sup>5</sup> :

<sup>5</sup>  $\mathbb{N}$  symbolise l'ensemble des entiers naturels.

$$P = P_0 \cup \dots \cup P_n \cup \dots$$

pour non( $P_i = P_j$ ) si non( $i = j$ )

Les connecteurs sont le connecteur de négation, noté  $\neg$ , de disjonction, noté  $\cup$ , de conjonction, noté  $\cap$ , d'implication, noté  $\rightarrow$ , et d'équivalence, noté  $\leftrightarrow$ .

Nous utiliserons les symboles classiques de parenthèses. L'ensemble des formules bien formées de  $LP$  est noté  $W_{LP}$ .

$W_i$ , pour  $i \in \mathbb{N}$ , est l'ensemble des formules bien formées construites sur  $P_0 \cup \dots \cup P_i$ .

**Définition 2** Une *formule* (ou une **connaissance**) *contextuelle* est une expression de la forme :

$$p_{i+1} \rightarrow f_i \text{ tel que } i \in \mathbb{N}, p_{i+1} \in W_{i+1} \text{ et } f_i \in W_i$$

Un **ensemble contextuel** est un ensemble fini de formules contextuelles. Nous noterons  $W_{LC}$  l'ensemble des formules contextuelles.

Une formule contextuelle  $p_{i+1} \rightarrow f_i$  est appelée une *connaissance* parce qu'elle exprime une certitude : la croyance  $c_{i+1}$  est modélisée par la formule  $f_i$  (dans le langage de  $LC$ ).

Remarquons que c'est l'unique certitude qu'il est possible d'écrire dans  $LC$ , puisque le langage est restreint à ce type de formule. On obtient le résultat suivant [Koh95] :

**Propriété 1** Soient  $E$  un ensemble contextuel, et  $c$  une conjonction de variables propositionnelles. Alors  $E$  est consistant, et non( $E \vdash_{LP} c$ ).

Cet énoncé exprime deux résultats importants :

1.  **$E$  est consistant** : cette propriété assure que tout ensemble de formules est logiquement cohérent (sans préjuger de la cohérence de *sens commun*). Cela a au moins deux conséquences :

- d'une part, une distinction explicite est faite entre *sens commun* et *sens logique*. C'est une réponse possible au problème du sens des connecteurs (Cf. le paragraphe 3.1),
- d'autre part, le maintien de la consistance logique permet d'échapper, lors de l'arrivée d'une nouvelle information, au test de la consistance<sup>6</sup>. En effet, celui-ci nécessite beaucoup de temps de calcul, et engendre des problèmes de choix qui n'ont toujours pas été résolus dans le cas général. Pour  $LC$ , ces problèmes relèvent d'un problème de contexte de référence (Cf. la section 3),

L'expression  $f \in F$  se lit :  $f$  est élément de  $F$ .

<sup>6</sup> Il est essentiel que l'ensemble des formules soit logiquement consistant. Dans le cas contraire, il ne serait d'aucune utilité. En effet, à partir d'un ensemble inconsistant, il est possible de prouver n'importe quel résultat, par application du théorème :

$$\{a, \neg a\} \vdash_{LP} b$$

qui est indépendant du contenu de la base de connaissances,

2. **non( $E \vdash_{LP} c$ )** : cette propriété permet de vérifier la thèse 3 (il n'est pas possible de produire une certitude  $c$  à partir d'une base de connaissances  $E$ ).

Notons que toute formule produite à partir d'un ensemble contextuel est de la forme  $C \rightarrow F$ , pour  $C \in W_{LP}$  ( $P_i \cup \dots \cup P_j$ ) une conjonction de variables propositionnelles, avec  $i, j \in \mathbb{N}$ ,  $i < j$ , et  $F \in W_{i-1}$  une formule quelconque. Ceci nous permet de proposer :

**Définition 2** Une **croyance** est une conjonction finie de variables propositionnelles appartenant à un ensemble  $P_i$ , pour  $i \in \mathbb{N}$ .

Une **croyance contextuelle** (ou un **contexte**) est une conjonction finie de croyances.

L'ensemble des contextes est noté  $W_{Co}$ . L'ensemble des croyances est noté  $W_{Cr}$ .

Une conjonction de variables propositionnelles est appelée une *croyance* (éventuellement *contextuelle*<sup>7</sup>) parce qu'il n'est pas possible d'affirmer sa validité à partir d'un ensemble contextuel (propriété 1). Donc :

*Un ensemble contextuel ne modélise pas les croyances, mais les connaissances qui les décrivent (en utilisant les autres croyances).*

Cette remarque justifie la décomposition de l'ensemble  $P$ . Une croyance  $p \in P_n$ , pour  $n \in \mathbb{N}$ , est décrite par une formule construite sur l'ensemble  $P_0 \cup \dots \cup P_{n-1}$ .

## 2.2. Sémantique

Il est commode d'identifier un contexte à l'ensemble des variables propositionnelles qui le composent, afin d'utiliser les notations ensemblistes d'égalité, d'inclusion stricte, d'intersection et d'ensemble vide (notées respectivement  $=$ ,  $\subset$ ,  $\cap$  et  $\emptyset$ ).

La propriété 1 rend la sémantique de  $LP$  insuffisante : il n'est en effet plus possible, du fait de la restriction syntaxique adoptée, de montrer la validité d'une croyance à partir d'un ensemble de formules contextuelles. Pour y pallier, la sémantique contextuelle propose d'introduire des modalités dans l'interprétation. Pour cela, on définit :

**Définition 3** Le domaine d'interprétation  $D_{LC}$  de  $LC$  est :

$$D_{LC} = \{ \text{impossible, impossible minimal, possible, possible maximal, vraisemblable, n-impossible, n-possible, n-vraisemblable : } n \in \mathbb{N} \}$$

La fonction d'interprétation :

$$F_{LC} : (W_{LC}, W_{Co}, W_{Cr}) \rightarrow D_{LC}$$

de  $LC$  propose d'interpréter les croyances en fonction des contextes. La sémantique est :

<sup>7</sup> La différence entre les *croyances* et les *contextes* (les *croyances contextuelles*) est avant tout d'ordre sémantique. Nous l'établirons au paragraphe suivant.

**Définition 4** Soient  $E \text{ IN } W_{LC}$ , et  $C \text{ EL } W_{Co}$ . Dans  $E$  et par rapport à  $C$ , une croyance  $c \text{ IN } P_n$ , pour  $n \in \text{EL } \text{IN}$ , est :

**impossible** ssi :

$$\{E, C\} \models_{LP} \text{NO } c$$

**possible** ssi :

$c$  n'est pas impossible

**impossible minimale** ssi :

$$c \text{ impossible et } \text{QS } c' \text{ IN } c : \text{non}(c=c') \Rightarrow c' \text{ possible}$$

**possible maximale** ssi :

$$c \text{ possible et } \text{QS } c' \text{ EL } P_n : \text{non}(c \text{ EL } c' = c) \rightarrow (c \text{ EL } c') \text{ impossible}$$

**vraisemblable** ssi :

$$\text{QS } c' \text{ EL } P_n \text{ impossible minimale} : c \text{ IT } c' = \text{V}$$

**m-impossible**,  $m < n$ , ssi :

$$\text{EX } c' \text{ IN } P_{m-n} \text{ vraisemblable} : \{E, c'\} \models_{LP} \text{NO } c$$

**m-possible**,  $m < n$ , ssi :

$$\text{EX } c' \text{ IN } P_{m-n} \text{ possible} : \{E, c'\} \models_{LP} c$$

**m-vraisemblable**,  $m < n$ , ssi :

$$\text{EX } c' \text{ IN } P_{m-n} \text{ vraisemblable} : \{E, c'\} \models_{LP} c$$

Ces définitions entraînent quelques remarques :

- la sémantique contextuelle donne un sens aux formules contextuelles en adaptant la sémantique de la logique propositionnelle classique afin de tenir compte de la propriété 1 : il n'y a plus de certitude absolue, toute croyance  $c$  est interprétée en fonction d'une base de connaissances  $E$  et d'un contexte de référence  $C^8$ . Rien ne permet d'extirper a priori un contexte de référence absolu (sur ce point, voir le paragraphe 2.3 et la section 3),
- ceci permet d'élaborer un langage qui, dans un certain sens, est **fermé** et **se suffit à lui-même** : une expression du langage n'a de sémantique (contextuelle) que par rapport aux autres expressions du langage. Cela entraîne qu'il n'y a plus de notion de *Vrai* ou de *Faux*,
- la remarque qui précède rend à notre sens possible l'opération de changement de statut opérée dans la définition 1. Introduit dans le langage,  $C$  ne devient plus qu'un symbole auquel il ne peut être donné de sens que par rapport aux autres symboles du langage,

<sup>8</sup> Nous sommes maintenant en mesure de constater qu'une **conjonction de croyances** est appelée un **contexte** lorsqu'elle est utilisée par la sémantique pour interpréter des croyances (cf. note 7).

- les différentes interprétations ont intuitivement les sens suivants :

- impossible** :  $LC$  établit une distinction entre l'interprétation contextuelle *impossible* et l'interprétation classique *faux*. Elle est explicitée au paragraphe 3.1. Notons qu'un état de chose peut être symbolisé par (au moins) deux variables propositionnelles. On peut ainsi modéliser un état à la fois *vrai* et *faux*. Dire en ce sens qu'une croyance est impossible et tout simplement affirmer qu'elle ne peut pas être vraie, sans présumer en quel sens elle est fautive,
- impossible minimale** : une croyance est minimale si toutes les croyances qui la composent<sup>9</sup> sont nécessaires pour montrer qu'elle est impossible,
- possible** : c'est une croyance qui n'est pas impossible,
- possible maximale** : une croyance possible est maximale si l'adjonction de toute autre croyance la rendrait impossible,
- vraisemblable** : une croyance est vraisemblable si elle ne contredit aucune autre croyance,
- m-impossible, m-possible, m-vraisemblable** : ces interprétations ont, dans l'idée, des définitions équivalentes à celles qui précèdent. Elles prennent en compte la hiérarchisation de l'ensemble  $P$  des variables propositionnelles<sup>10</sup>.

### 2.3. Le contexte le plus crédible

Parmi l'ensemble des contextes possibles, certains sont plus *crédibles* que d'autres. Nous proposons de formaliser cette notion dans  $LC$  par la définition suivante :

**Définition 5** Soit  $E$  un ensemble contextuel. Le **contexte  $C_p$  le plus crédible** dans  $E$  est la conjonction de toutes les croyances  $c \text{ IN } P_n$ , pour  $n > 0$ , telles que :

- $c$  est 0-vraisemblable par rapport à  $C_p$ ,
- $\text{QS } m < n$ ,  $c$  n'est pas  $m$ -impossible par rapport à  $C_p$ .

Cette définition a été retenue pour sa simplicité et sa cohérence : un contexte est *le plus crédible* si toutes les croyances qui le composent sont vraisemblables, ou sont justifiées par des croyances vraisemblables.

Par ailleurs, l'exemple qui suit montre clairement la prise en compte de la hiérarchie de  $P$ . Il est en effet raisonnable de supposer que plus une variable propositionnelle est haute dans la hiérarchie, plus elle

<sup>9</sup> Une croyance est une conjonction de croyances (Cf. la définition 2).

<sup>10</sup>  $P = P_0 \cup \dots \cup P_n \cup \dots$  (Cf. le paragraphe 2.1). On considère alors qu'une croyance  $p \text{ EL } P_i$  se modélise par les croyances de l'ensemble  $P_0 \cup \dots \cup P_{i-1}$ .

est importante<sup>11</sup>. En effet, sa modélisation utilise les variables plus basses dans la hiérarchie : on peut traduire cela en disant que les variables hautes gèrent les variables basses en exprimant des relations logiques entre elles.

**Exemple** Soit l'ensemble contextuel :

$$E = \{ \begin{array}{l} p_1 \rightarrow a, p_2 \rightarrow \text{NO} a, p_3 \rightarrow b, \\ p_1' \rightarrow p_2, p_2' \rightarrow c, \\ p_1'' \rightarrow a, p_2'' \rightarrow d, p_3'' \rightarrow \text{NO} d \end{array} \}$$

pour  $a, b, c, d \in P_0$ ,  $p_1, p_2, p_3 \in P_1$ ,  $p_1'', p_2'', p_3'' \in P_3$  et  $p_1', p_2', p_3' \in P_3$ .

Pour obtenir la croyance la plus crédible, on étudie les variables propositionnelles en commençant par les plus hautes dans la hiérarchie de  $P$ . On obtient alors :

- au niveau de  $P_3$ , les croyances  $p_2'$  et  $p_3''$  ont des modélisations contradictoires (resp.  $d$  et  $\text{NO} d$ ). Donc seule  $p_1''$  est crédible,
- au niveau de  $P_2$ , la croyance  $p_1'$  se modélise par la formule  $\text{NO} a$ , par l'intermédiaire de  $p_2$ . Ceci contredit  $p_1''$ , qui se modélise par  $a$ . Comme  $p_1''$  est crédible,  $p_1'$  doit être rejetée. Par contre, la croyance  $p_2'$  est immédiatement crédible,
- au niveau de  $P_1$ , la croyance  $p_3$  est immédiatement crédible. Mais les croyances  $p_1$  et  $p_2$  ont des modélisations contradictoires (resp.  $a$  et  $\text{NO} a$ ). Ce conflit est résolu par  $p_1''$ , qui favorise  $p_1$  au dépend de  $p_2$ .

On obtient finalement le contexte le plus crédible :

$$C_p = p_1'' \text{ ET } p_2' \text{ ET } p_1 \text{ ET } p_3$$

Notons que certains ensembles n'ont pas de contexte le plus crédible. Le plus petit exemple possible est :

$$E = \{ p_1 \rightarrow (a \text{ ET } \text{NO} a) \}$$

pour  $p_1 \in P_{i+1}$ ,  $i \in \mathbb{N}$ ,  $a \in P_i$ , et  $j < i$ .

Les définitions que nous venons de donner suggèrent une relation d'inférence non monotone. Celle-ci est, pour  $E \in W_{LC}$  et  $C \in W_C$  :

$$E \vdash_{LC,C} f \Leftrightarrow \{E, C\} \vdash_{LP} f^{12}$$

<sup>11</sup> Notons toutefois que c'est un parti pris qui pourrait facilement être inversé, ou même complètement changé.

<sup>12</sup> Dans le cas général, les propriétés non monotones ([KLM90], [LehMag90], [G'arMak91], [GärMak92]) de  $\vdash_{LC,C}$  sont (preuves dans [Koh95]) : **Supraclassicité**, **Affaiblissement à droite**, **Et** et **Réflexivité**.

Notons que la définition 5 ne pose pas de condition sur  $C$ . Celui-ci peut donc dépendre de la syntaxe de  $E$ , ce qui rend caduc, par exemple, la propriété d'**Equivalence logique à gauche**.

D'autre part, le langage de  $LC$  est restreint aux formules contextuelles. Si  $A$  et  $B$  sont des formules contextuelles,  $A \text{ OU } B$  et  $\text{NO} A$  ne le sont pas. Certaines propriétés n'ont alors plus de sens, comme **Ou** et **Négation rationnelle**.

Lorsque le contexte de référence est le contexte le plus crédible  $C_p$ ,  $\vdash_{LC,C_p}$  vérifie en plus les propriétés **Equivalence logique à gauche**, **Préservation de la consistance**,

Cette formule rend dépendante la validité d'une expression  $f$ , d'une part de la base de connaissances  $E$ , et d'autre part d'un **contexte de référence**  $C$ .

### 3. Elaboration d'un modèle cognitif basé sur la notion de contexte

Nous présentons dans cette partie un modèle cognitif basé sur la notion de contexte. Notre choix d'utiliser la logique contextuelle pour le développer et l'implémenter est justifié :

- au paragraphe 3.1, où nous indiquons la solution proposée par  $LC$  pour répondre au problème du *sens commun* des langages formels,
- et au paragraphe 3.4, où nous montrons que la souplesse d'expression de  $LC$  rend possible l'implémentation *complète* du modèle que nous proposons, en distinguant consistance logique et consistance de *sens commun*.

Au paragraphe 3.2, nous rappelons brièvement les principaux concepts développés pour les **modèles cognitifs**. Celui que nous avons développé (appelé le **modèle contextuel**) est présenté au paragraphe 3.3. Ses processus les plus importants sont donnés formellement au paragraphe 3.5.

Après une étude comparative avec d'autres approches similaires (paragraphe 3.6), nous concluons cette section en présentant les principales restrictions du modèle contextuel.

#### 3.1. Sur les paradoxes des connecteurs logiques

Soit la proposition *Les oiseaux volent*. Elle peut être modélisée dans  $LC$  par la formule  $O_i \rightarrow V_o$ . Elle admet plusieurs *négations de sens commun*, par exemples :

*Les oiseaux ne volent pas*  
(form.  $O_i \rightarrow \text{NO} V_o$ )

*Aucun oiseau ne vole*  
(form.  $O_i \text{ ET } \text{NO} V_o$ )

*Les oiseaux qui ne sont pas des autruches volent*  
(form.  $(O_i \text{ ET } \text{NO} Au) \rightarrow V_o$ )

Ainsi, le langage naturel admet une infinité de nuances - par exemple en fonction du contexte par rapport auquel la négation est interprétée. Plutôt que d'essayer d'exprimer chaque négation *de sens commun* par un connecteur (ce qui risque d'entraîner la conception d'un

**Conditionnalisation faible** et **Monotonie rationnelle faible** (preuves dans [Koh95]).

Elle n'est ni cumulative ([KraLehMag90]) (et donc pas préférentielle ([KraLehMag92])) ni étendue ([GärMak92]), puisqu'elle ne vérifie pas les propriétés **Monotonie restreinte** et **Ou**.

Un lien entre  $LC$  et les logiques auto-épistémiques ([Moo84]) a été établi ([Koh95]). D'autre part, il a été montré que  $LC$  basé sur le système modal  $K$  couvre complètement la logique des défauts, en proposant un critère qui indique l'existence d'une extension, et lorsque celle-ci est inconsistante ([Koh95]).

langage formel infiniment complexe), la solution retenue par LC est de ne rien conclure de  $\neg O_i$  (*Les oiseaux volent*).

Ainsi, une négation (*de sens commun*) de *Les oiseaux volent* pourrait être n'importe quelle connaissance dont la modélisation contient les variables propositionnelles  $O_i$  et  $V_o$ , et qui n'est pas logiquement équivalente à  $O_i \rightarrow V_o$ , par exemple :

$$\begin{aligned} O_i &\rightarrow \neg V_o \\ O_i &\text{ ET } \neg V_o \\ (O_i \text{ ET } \neg V_o) &\rightarrow V_o \end{aligned}$$

On obtient bien ainsi une infinité de négations *de sens commun* possibles.

D'autre part, dans la logique contextuelle, toute formule qui n'est pas une conjonction de variables propositionnelles n'a aucun sens en soi : elle ne fait qu'exprimer une relation **logique** entre un état de chose  $c$  et sa représentation formelle  $f$  par  $c \rightarrow f$ . Cette façon de voir est une manière élégante de résoudre le problème bien connu du paradoxe de l'implication matérielle : LC ne donne qu'un *sens logique* aux connecteurs, et ne leur reconnaît aucun *sens commun*.

### 3.2. Rappels sur les modèles cognitifs

L'étude, en psychologie scientifique, de la structure de la mémoire est une problématique très ancienne. Elle a mené ([Jam90]) à l'élaboration de deux concepts : les registres transitoires et les registres permanents. Le modèle cognitif que nous avons conçu puise ses sources dans les travaux de D.E. Broadbent, D.A. Norman et R.M. Shiffrin ([Bro58], [Nor70] et [Shi76]). Les concepts fédérateurs sont ([RBG90]) :

- le **Registre Sensoriel (RS)** est le lieu où l'information est stockée. Il est considéré classiquement comme ayant une capacité illimitée. Certains auteurs y situent aussi les connaissances procédurales innées (comme les réflexes innés),
- la **Mémoire à Long Terme (MLT)** peut être perçue comme la base de connaissances du sujet, de laquelle il puisera les informations nécessaires pour réagir à un stimulus. Elle contient donc toutes les connaissances susceptibles d'être connues du sujet,
- la **Mémoire à Court Terme (MCT)** n'a pas encore reçu de définition faisant l'unanimité. Certains auteurs la conçoivent comme un registre à capacité limitée faisant le pont entre la MLT et le RS, en sélectionnant les informations pertinentes. D'autres proposent une distinction MCT/MLT par la propriété (supposée) de la MCT à coder les informations phonétiques, la MLT utilisant un codage sémantique.

Pour notre part, nous avons adopté la conception de D.A. Norman ([Nor70]), qui voit dans la MCT une partie de la MLT qui se trouverait, à un instant donné, dans un état d'activation particulier : c'est un ensemble de formules caractérisé par la croyance ponctuelle,

- la **Mémoire de Travail (MT)**, contrairement à la MCT qui serait plutôt un système de stockage passif d'informations, introduirait des transformations sur ces informations avant de les reproduire.

Ces différents concepts ont mené à la conception, et à l'implémentation, de divers modèles cognitifs. Ceux-ci se distinguent par les caractéristiques et les connexions qu'ils prêtent aux différents registres de mémoire.

Par exemple, le **modèle de la mémoire permanente**, de R.C. Atkinson et R.M. Shiffrin ([AtkShi68]), distingue deux types de mémoire : la MCT, peu différente du *buffer* des ordinateurs, et la MLT, analogue à la mémoire centrale en informatique. Il utilise un processus de contrôle similaire à l'unité de contrôle des ordinateurs. Le **modèle ACT\*** (*Adaptive Control of Thought*), de J.R. Anderson ([And83]), modélise la situation courante et l'énoncé des traitements par la MT. La MLT déclarative stocke des informations factuelles où conceptuelles, et la MLT procédurale stocke les règles de production à appliquer sur la MT.

Le principal intérêt de ces implémentations est de tester les différents modèles de représentation de la connaissance, afin d'apporter un éclairage nouveau sur l'étude du raisonnement humain. Leur second intérêt est de proposer des systèmes susceptibles de réfléchir, et donc de faire l'objet d'applications industrielles diverses.

Les plus connues en la matière sont certainement les **systèmes experts**. Ceux-ci considèrent une base, contenant, sous la forme d'un ensemble de formules bien formées, les connaissances d'un expert humain, et un moteur d'inférence, qui gère la base et en infère les formules nécessaires pour répondre aux requêtes posées.

### 3.3. Le modèle contextuel : d'une vision globale à une vision partielle des connaissances

Pour tenter de résoudre les problèmes posés par la complexité exponentielle des algorithmes utilisés (Cf. par exemple [Neb91]), nous proposons d'utiliser la souplesse d'expression de la logique contextuelle pour appliquer le principe d'enracinement épistémique ([Gär88] qui postule que les croyances obéissent à une relation d'ordre qui évolue indépendamment du processus de décision).

L'idée est de minimiser les temps de calcul nécessaire au processus de décision, non pas en diminuant la complexité des algorithmes en oeuvre (ce qui semble difficile), mais en restreignant la base de connaissances à interpréter à l'ensemble des formules considérées comme les plus pertinentes compte tenu de l'enracinement épistémique. Celui-ci nécessite l'existence d'une relation d'ordre. Celle que nous nous proposons d'utiliser est :

**Thèse 6** *Une information est d'autant plus vraisemblable qu'elle a été utilisée récemment.*

Cette proposition a été retenue parce qu'elle permet la modélisation de nombreux cas réels - l'ordre de déclenchement des procédures d'un programme par

exemple, ou plus généralement dès qu'on considère une suite d'actions.

Pour déterminer à chaque instant l'ensemble des connaissances pertinentes, nous générerons dynamiquement (**critère d'évolution**) la relation d'ordre au cours de l'évolution du système.

Pour répondre au problème posé par la complexité exponentielle des algorithmes, nous supposons que l'ensemble des connaissances pertinentes a une taille maximale en nombre de formules (**seuil technique** - celui-ci devra tenir compte des capacités de la machine qui supporte le programme, comme sa vitesse de calcul et ses capacités de mémorisation).

Enfin, nous changerons à chaque instant le moins possible (**changement minimal**) l'ensemble des connaissances pertinentes afin de modéliser la continuité du processus d'évolution du contexte dans lequel le système évolue.

1. Nous considérons que la **MLT** est le lieu mémoire contenant les connaissances, c'est à dire l'ensemble  $P$  des variables propositionnelles, chaque variable pointant sur la *pile* (au sens informatique) des formules auxquelles elle participe. Elle a théoriquement une capacité illimitée. Elle est partitionnée par type de variables propositionnelles (propositions sur le temps, les formes, les distances, etc.).
2. Le **RS** est le lieu où est mémorisé l'ensemble des connaissances procédurales, à savoir les procédures logiques classiques (fonction d'interprétation, procédure de résolution, conversion d'une formule sous sa forme normale, adjonction et effacement sur les piles), et les connaissances procédurales se rapportant aux propositions-actions (Cf. le paragraphe 3.6.).
3. La **MCT** est une *file* (au sens informatique) qui contient des formules extraites de la MLT. Sa taille est limitée par le seuil technique. Son contenu dépend des informations (des formules contextuelles) ou des requêtes (un ensemble de variables  $\{p_i : p_i \in P\}$ ) qui parviennent au système.

Dans le cas d'une information, cette dernière est simplement empilée dans la MLT et la MCT. Si nécessaire, le RS efface les formules les plus anciennes pour que la taille de la MCT ne dépasse pas le seuil technique, et les déplace en tête des piles de la MLT. Il interprète ensuite les connaissances décrites par la MCT, afin éventuellement d'adopter une réaction en fonction des propositions-actions.

Dans le cas d'une requête, le but du système est de déterminer un lien logique entre les  $p_i$  :

- si une formule vérifiant la contrainte se trouve déjà dans la MCT, le RS donne son interprétation (par rapport à la MCT). Il réactualise la MCT en déplaçant à sa tête

les formules qui ont été utilisées pour fournir la réponse,

- sinon, le RS applique les propositions-actions et/ou recherche dans les piles connexes aux propositions  $p_i$ , et sur une profondeur limitée par les seuils d'incapacités, des formules construites sur au moins deux des propositions concernées. Il les adjoint à la MCT. Si nécessaire, le RS efface les formules les plus anciennes pour que la taille de la MCT ne dépasse pas le seuil technique, et les déplace en tête des piles de la MLT. Il effectue cette opération tant que la MCT varie et qu'il n'a pas obtenu de réponse.

Si aucune réponse n'a été trouvée, le RS renvoie un message d'échec, et demande plus d'informations pour progresser. Celles-ci peuvent prendre la forme d'une requête de plus grande taille que la précédente, entraînant ainsi la recherche sur un plus grand nombre de propositions.

4. Le RS utilise la MT, qu'il réactualise constamment et dans laquelle il mémorise toutes les formules susceptibles d'être produites de la MCT.

Le déplacement des formules dans les piles de la MLT modélise l'adaptation au contexte et l'oubli : moins une connaissance est utilisée, plus elle s'enfoncera dans les piles et sera difficilement récupérable. Notons qu'une connaissance peut se retrouver morcelée dans différentes piles, et donc ne plus devenir que partiellement accessible, suivant l'évolution du système. Enfin, le fait de se retrouver dans plusieurs piles pose le problème de la bonne requête à poser pour accéder à la bonne connaissance.

### 3.4. Faisabilité

Ce modèle, simple à implémenter, nécessite des temps de calcul relativement courts, grâce aux contraintes mises sur la taille de la MCT. Son optimisation nécessiterait une étude précise des seuils d'incapacités. Ils sont, dans l'implémentation actuelle, choisis de manière arbitraire. Ils pourraient dépendre de la taille des formules de la MCT.

Le modèle contextuel a été rendu possible par le fait que *LC* assure la consistance axiomatique de l'ensemble des formules qui modélisent les connaissances. Ceci permet de travailler sur des sous-ensembles éventuellement incohérents au niveau du *sens commun* (le système a une vision partielle de ses connaissances) sans risquer de "planter" les processus par l'apparition imprévue d'une inconsistance axiomatique.

D'autre part, le fait que l'axiomatique de la logique contextuelle soit celle de la logique propositionnelle assure le bon comportement des algorithmes mis en oeuvre.

Enfin, le modèle contextuel considère le droit à l'erreur comme un paramètre incontournable de l'Intelligence, qu'il est nécessaire de prendre en compte non pas pour

le capturer et le minimiser, mais pour essayer de le corriger par un processus très dynamique : classiquement, un système expert à une vision globale de sa base de connaissances, et un processus de raisonnement lent - le modèle contextuel a une vision partielle : il y gagne un processus de raisonnement rapide.

Cette approche pourrait représenter une extension intéressante aux logiciels classiques d'expertises, dans les domaines d'aide à l'extraction des connaissances (elle permettrait de diriger les questions de l'extracteur, en lui proposant un outil susceptible de réfléchir comme l'expert - raisonnement non monotone, adaptation au contexte) et d'aide à la décision, grâce à sa capacité à gérer des bases de connaissances de très grande taille par une série judicieuse de questions/réponses.

En contre partie, sa manière d'aborder et de gérer les erreurs impose, dans la plupart des cas, un contrôle humain<sup>13</sup>.

### 3.5. Présentation formelle du modèle contextuel

Nous présentons la partie centrale de l'algorithme du modèle contextuel. Nous ne développerons pas la fonction *Réponse*, qui modélise la réaction du système après le processus d'interprétation de l'ensemble des connaissances pertinentes (voir la section 3.6.).

On se place dans le cadre d'un temps discrétisé  $t_0, \dots, t_n, \dots$ . A l'instant  $t_0$ , on définit :

- l'ensemble des connaissances  $MLT = VI$ ,
- $\cup_N$  ensemble de variables propositionnelles  $I = VI$ ,
- l'ensemble des connaissances pertinentes  $MCT = VI$ ,
- $\cup_N$  ensemble de variables propositionnelles pertinentes  $I^p = VI$ ,
- la taille  $N \in \mathbb{N}$  maximale tolérée pour l'ensemble  $I^p$ ,
- une relation d'ordre totale  $R$  sur  $I$ .

A chaque instant  $t_i, i > 0$ , on reçoit l'information :

$$p \rightarrow f_p$$

pour  $p \in I, j > 0$ , et  $f_p \in W_k$ , pour  $k < j$ .

Nous proposons l'algorithme de révision suivant :

A\_Chaque\_Instant ( $t_i, i > 0$ ), Faire :

$$\begin{aligned}
 &MLT = MLT \cup \{p \rightarrow f_p\}; \\
 &MCT = MCT \cup \{p \rightarrow f_p\}; \\
 &I = I \cup \{p\}; \\
 &I^p = I^p \cup \{p\}; \\
 &R = R \setminus \{(p < p') : p' \in I\}; \\
 &R = R \cup \{(p' < p) : p' \in I\}; \\
 &\text{Si } (|I^p| > N) \text{ Alors :} \\
 &\quad \{ \exists X \exists ! p^{min} \in I : \exists p' \in I : (p^{min} < p') \in R \} \\
 &MCT = MCT \setminus \{p^{min} \rightarrow f_{p^{min}}\}; \\
 &I^p = I^p \setminus \{p^{min}\};
 \end{aligned}$$

<sup>13</sup> Par exemple, dans le cas d'un détecteur de panne pour une centrale nucléaire, ou d'un système de diagnostic médical, on ne peut pas se contenter de la réponse approximative d'un système artificiel... Quand bien même elle serait identique à celle d'un expert humain. Par ailleurs, espérer une réponse meilleure semble relever de l'utopie.

Fin\_Si\_Alors;  
 En\_Cas\_de\_Requête\_Faire :  
     *Réponse* = {  $f : MCT \mid \sim_{LP, Cp} f$  };  
 Fin\_En\_Cas\_de\_Requête\_Faire;  
 Fin\_A\_Chaque\_Instant;

Ce processus de révision est construit autour d'une relation d'ordre totale chronologique, qui définit dynamiquement l'enracinement épistémique  $R$  des variables propositionnelles. Il n'est pas nécessaire de mémoriser les ensembles  $MLT$  et  $MCT$  à chaque instant :  $R$  évolue déjà en fonction de l'histoire du système.

La gestion de  $MLT$  correspond à un processus d'expansion classique. La gestion de  $MCT$  peut être décomposée en un processus d'expansion classique, suivi, si nécessaire (lorsque  $I^p$  dépasse en nombre de variables propositionnelles la taille maximale  $N$  tolérée), d'un processus de contraction classique qui dépend de  $R$ .

Le problème de la non monotonie est traité à chaque instant par la recherche de l'ensemble pertinent le plus proche en fonction de  $R$  du contexte dans lequel se trouve le système. Elle dépend donc des résultats des processus de révision antérieurs, c'est à dire de l'histoire du système, mémorisée par  $R$ .

La complexité de l'algorithme dépend de la fonction *Réponse* : elle est exponentielle, puisqu'il est nécessaire d'utiliser les algorithmes de la logique propositionnelle pour exhiber les contextes minimaux de  $MCT$  et les formules  $f$  telles que  $\{MCT, Cp\} \mid \sim_{LP} f$ . Ce problème est traité en limitant la taille de  $MCT$  en fonction de  $N$ . Cela permet de contrôler les temps de calcul, en tenant compte des capacités de la machine qui supporte le programme.

Il est facile de générer à partir de  $R$  des relations  $R_p$ , pour  $p \in I, P$ , qui modélisent l'enracinement épistémique des formules en fonction de chacune des variables  $p$  qu'elle contient. Il est tout aussi simple de prévoir, pour chaque  $p \in I$ , deux relations  $R_p$  et  $R_{\neg p}$ , si l'on souhaite conserver une trace de l'évolution des formules en fonction des littéraux positifs et négatifs de  $p$ .

### 3.6. A propos d'autres approches similaires

L'idée d'utiliser une relation d'ordre sur les formules n'est certainement pas nouvelle ! Elle sert le plus souvent à résoudre les problèmes posés par l'arrivée d'une information incohérente avec la base de connaissances (ce que font les [ATMS], par exemple).

Mais la souplesse d'expression des formules contextuelles permet d'échapper définitivement au problème du maintien de la consistance axiomatique. La relation d'ordre est alors utilisée pour gérer l'environnement du système au cours de son évolution, afin de restreindre l'ensemble à interpréter à un sous-ensemble (supposé) pertinent.

En effet, un problème ouvert reste celui posé par la complexité des algorithmes mis en oeuvre : il semble que les processus de révision et de non monotonie sont, de manière générale, (au moins) NP-difficiles ([Neb91]).  $LC$  propose une alternative, en le

transposant à un problème de gestion de l'environnement sémantique. Cette approche est rendue possible par la propriété 1, qui permet au système de n'avoir qu'une vision partielle de sa base de connaissances sans aucun risque axiomatique.

Les principales caractéristiques de la relation d'ordre que nous avons proposée sont :

- elle n'est pas fixée au départ, et est totalement indépendante de l'information ou de son contenu (contrairement aux approches de [Neb94], [Rya92], [BCDLP93], par exemple),
- elle évolue dynamiquement au cours du temps (contre-exemple dans [BCDLP93]),
- elle est gérée extérieurement au processus de réflexion du système, et n'intervient pas dans le langage de représentation (contrairement à l'approche proposée par [PapRau94] par ex.).

La hiérarchie de *LC* ne représente qu'une hiérarchie sur les connaissances. Elle permet l'expression de méta-connaissances, très utiles pour exprimer des relations de préférence, par exemple. Toutefois, elle n'est pas utilisée par la relation d'ordre, mais uniquement par la fonction d'interprétation.

### 3.7. Restrictions

L'algorithme utilise une relation d'ordre qui prend en compte l'ordre d'arrivée des informations. Nous l'avons retenu comme étant la plus générale possible. Il est toutefois parfaitement possible d'utiliser une autre définition. La seule contrainte (de taille !) qu'il est nécessaire de vérifier pour conserver un bon comportement du processus est que la relation d'ordre soit totale. Cela lui permet, en outre, de vérifier immédiatement les propriétés d'une relation d'ordre épistémique.

Le problème de non unicité de l'extension est géré par la relation d'ordre, sur laquelle le système a peu de contrôle. On peut alors avoir une réponse fautive à une question, alors que le système a dans sa base les connaissances suffisantes pour répondre correctement.

En fait, la réponse n'est pas à proprement parler fautive : c'est le contexte par rapport auquel la question a été étudiée qui n'est pas adapté à la situation. Ce problème peut en partie être corrigé par les **propositions-actions** ([Koh95]), qui permettent au système d'intervenir sur l'ensemble des informations pertinentes *MCT*. Par exemple, l'interprétation à *vraisemblable* d'une variable propositionnelle  $p$  à l'instant  $t_i$  peut entraîner, à l'instant  $t_{i+1}$ , le retour automatique dans *MCT* d'une ancienne information  $p' - > f$ , complémentaire par rapport à  $p$ . Toutefois, ce processus, qui est assuré par la fonction *Réponse*, ne peut avoir lieu que s'il a été appris.

Si la logique contextuelle permet la représentation d'informations avec exceptions, grâce à la représentation hiérarchisée des connaissances, son seul avantage à ce niveau, par rapport à d'autres formalismes (logiques modales [Kri71], ou logiques des défauts [Rei80], par exemple), est de se limiter au langage de la logique propositionnelle classique (ce qui

permet l'implémentation d'un algorithme de décision complet). Elle ne propose toutefois pas de solution général au problème de la non monotonie. En effet, le processus de décision, qui obéit à  $R$ , est totalement indépendant de la sémantique du langage.

Un algorithme a été implémenté. Il gère la relation  $R$ . Il utilise les propositions-actions et, pour chaque variable propositionnelle  $p$ , les relations  $R_p$  et  $R_{\text{No}, p}$ , pour auto-corriger dans la mesure du possible l'ensemble pertinent *MCT*. Afin de tester son comportement, la conception de diverses bases ne contenant que des informations symboliques est en cours d'étude ([Koh95]), entre autres sur la représentation des connaissances stratégiques d'un joueur d'échecs.

## 4. Conclusions - Perspectives

Deux idées ont dirigé nos travaux : l'étude des systèmes formels non classiques, qui nous a conduit, par l'intermédiaire de la conception *de dicto*, à l'élaboration du langage contextuel, et le problème de la conception et de l'implémentation d'un modèle cognitif.

Nous avons élaboré un système formel *LC*, dit contextuel. Il est fondé sur la *modélisation de la non équivalence entre une information*, symbolisée par une variable propositionnelle  $C$ , et sa *représentation formelle*, symbolisée par une formule complexe  $f$ . Un lien logique entre les deux expressions ( $C \models f$ ) a été proposé.

*LC* correspond à une restriction syntaxique de la logique propositionnelle *LP*. Son axiomatique est équivalente à celle de *LP*, ce qui lui permet d'utiliser les mêmes algorithmes. D'autre part, elle a une sémantique (méta-sémantique de celle de *LP*) basée sur l'interprétation de *ce qui est par rapport à*. Elle est suffisamment riche pour exprimer des interprétations graduées sur ce qui est vraisemblable ou impossible, des relations de préférences entre les formules, et des informations incohérentes au *sens commun*. De plus, elle propose une alternative élégante aux problèmes des paradoxes des connecteurs.

Ses conséquences avec la non monotonie et la révision, ainsi que ses rapports avec d'autres approches similaires, ont été étudiées. La souplesse d'expression de *LC* nous a permis d'élaborer un modèle cognitif, basé sur les modèles "Mémoire à Long Terme/Mémoire à Court Terme" développés par les sciences cognitives. Il utilise le concept d'enracinement épistémique, et propose une alternative aux problèmes posés par la complexité exponentielle des algorithmes en gérant dynamiquement les formules suivant leur ordre d'arrivée.

Certaines études récentes ([BouJég95]) laissent entrevoir de nouvelles possibilités d'implémentation lorsque la syntaxe est restreinte aux formules contextuelles. Nous envisageons de les appliquer à nos algorithmes.

Enfin, l'implémentation du modèle cognitif que nous avons présenté devrait, à l'essai, révéler des failles conceptuelles sur la relation d'ordre que nous avons retenue : une étude pluri-disciplinaire permettrait peut-

être d'y pallier, en permettant de tenir compte des plus récents développements des travaux sur la structure de la mémoire. Nous envisageons aussi d'introduire d'autres concepts, comme les notions d'informations persistantes ou rémanentes [CorSie95].

## Bibliographie

- [AI80] Artificial Intelligence, n. 13, special issue on nonmonotonic reasoning, 1980
- [And83] J.R. Anderson, "The architecture of cognition", Cambridge, Mass., Harvard University Press
- [Ari] Aristote, "Organon", vol. I (trad. J. Tricot), Vrin, Paris, 1969
- [AtkShi68] R.C. Atkinson, R.M. Shiffrin, "Human memory : a proposed system and its control processes", in K.W. Spence et J.T. Spence Eds., *Advanced in the psychology of learning and motivation research and theory*, vol. 2, pp. 90-195, New York, Academic Press, 1968
- [ATMS] J. Doyle, "A truth maintenance system", Artificial Intelligence, n. 12, pp. 231-272, 1970 - et J. Doyle "Reason maintenance and belief revision : foundations vs. coherence theories", in *Belief Revision*, P. Gärdenfors ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 29-51, 1992.
- [BCDLP93] S. Benferhat, C. Cayrol, D. Dubois, J. Lang, H. Prade, "Inconsistency management and prioritized syntax-based entailment", IJCAI'93, pp. 640-645, august 28 - september 3, Chambéry, Savoie, France, 1993
- [BouJég95] F. Bouquet, P. Jégou, "Solving Over-Constrained CSP Using Weighted OBDD", CP'95 Workshop on Over-Constrained Systems, Cassis, 1995
- [CorSie95] M.O. Cordier, P. Siegel, "Prioritized Transitions for Updates", ECSQARU'95
- [Des67] R. Descartes "Oeuvres philosophiques", tome 2, ed. de F. ALQUIE, chez Classiques Garnier, 1967
- [Dub] J.P. Dubucs, "Logiques non classiques", Encyclopedia Universalis
- [Gär88] P. Gärdenfors, "Knowledge in flux : modeling the dynamics of epistemic states", the MIT Press, cop. 1988 (A Bradford Book)
- [GärMak91] Peter Gärdenfors, David Makinson, "Relations between the logic of theory change and nonmonotonic logic", n André Fuhrmann and Michael Morreau, eds. *The Logic of Theory Change*, LNAI-465, p. 185-205, 1991
- [GärMak92] Peter Gärdenfors, David Makinson, "Nonmonotonic Inference Based on Expectations", Artificial Intelligence, 1992
- [Jam90] W. James, "Principles of psychology", New York, Holt, 1890
- [KatMen89] H. Katsuno, A.O. Mendelzon, "A unified view of propositional knowledge base updates", IJCAI'89, pp. 269-276, 1989
- [KatMen91] H. Katsuno, A.O. Mendelzon, "Propositional Knowledge base revision and minimal change", Artificial Intelligence, n. 52, pp. 263-294, 1991
- [Koh95] A. Kohler, "Proposition d'une structure de représentation de la connaissance pour les raisonnements non classiques", rapport de thèse soutenue en vue de l'obtention du grade de Docteur en Informatique de l'Université de Provence, 10/07/95
- [Koh95] A. Kohler, "D'une théorie avec défauts à une théorie modale", rapport de recherche LIM-URA CNRS 1787, 1995
- [KraLehMag90] S. Kraus, D. Lehman, M. Magidor, "Nonmonotonic Reasoning, Preferential Models and Cumulative Logics", Artificial Intelligence, n. 44, pp. 167-207, 1990
- [Kri71] S.A. Kripke, "Semantical considerations on modal logic", *Reference and Modality*, L. Linsky (éditeur), Oxford University Press, London, 1971
- [Léa88] Léa Sombé, "Raisonnements sur des informations incomplètes en Intelligence Artificielle", P. Besnard, M.O. Cordier, D. Dubois, L. Fariñas des Cerros, C. Froidevaux, F. Levy, Y. Moinard, H. Prade, C. Schwind, P. Siegel, *Revue d'intelligence artificielle*, vol.2, 1988
- [LehMag90] D. Lehmann, M. Magidor, "What does a conditional knowledge base entail ?", The Leibniz Center for Research in Computer Science, department of computer science, the Hebrew university of Jerusalem, Israel, June 1990 - Artificial Intelligence, n. 55, pp. 1-60, May 1992
- [Lew68] D. Lewis, "Counterpart Theory and Quantified Logic", 1968, réimp. *On the Plurality of Worlds*, Basil Blackwell, Oxford, 1986
- [Lyn66] R.C. Lyndon, "Notes on LOGIC", D. Van Nostrand Company, INC., Princeton, New Jersey, 1966.
- [Moo84] R.C. Moore, "Possible-world semantics for auto-epistemic logic", AAAI-Workshop on Non-Monotonic Reasoning, New-Paltz, New York, 1984
- [Neb91] B. Nebel, "Belief revision and default reasoning : Syntax-based approaches", KR'91, pp. 417-428, Cambridge, Massachussets, 1991
- [Neb94] B. Nebel, "Base Revision Operations and Schemes : Semantics, Representation, and Complexity", ECAI'94, August 8-12, pp. 341-345, Amsterdam, The Netherlands, 1994
- [Nor70] D.A. Norman, "Models of human memory", Academic Press, New York, 1970
- [Pit90] J. Pitrat, "Méta-connaissance, Futur de l'Intelligence Artificielle", HERMES, 1990
- [PapRau94] O. Papini, A. Rauzy, "Révision : mettons un bémol", Paris, RFIA'94
- [Qui53] W. Quine, "Three grades of Modal Involvement", (réimp. dans "The Ways of Paradox and other Essays", 1966, 1976) Harvard Univ. Press, pp. 158-176, 1953
- [RBG90] J.F. Richard, C. Bonnet, A. Ghiglione et al., "Traité de psychologie cognitive DUNOD, 1990
- [Rei80] R. Reiter, "A logic for default reasoning", Artificial Intelligence, vol. 13, pp. 81-132, 1980
- [Rya92] M. Ryan, "Representing Defaults as sentences with Reduced Priority", KR'92, pp. 649-660, October 25-29, Cambridge, Massachussets, 1992
- [Shi76] R.M. Shiffrin, "Capacity limitations processing, attention and memory", in W.K. Estes ed. *Handbook of learning and cognitive processes*, Hillsdale, N.J., Erlbaum, 1976
- [Wit61] L. Wittgenstein, "Tractatus logico-philosophicus", Gallimard, 1961.