
RAISONNER À PARTIR DE CONNAISSANCES INCOMPLÈTES : L'ÉMERGENCE D'UN NOYAU

Denis PIERRE

LIRMM, UMR 9928 Université Montpellier II/CNRS
161 Rue ADA, 34392 Montpellier Cedex 5, FRANCE
Email : pierre@lirmm.fr

Résumé

Nous nous intéressons à l'apprentissage à partir d'exemples et à la résolution de problème dans un univers évolutif représenté par une base de connaissances incomplète. Nous avons conçu notre système d'apprentissage autour de l'idée de noyau central, issue des recherches en psychologie sociale, en définissant un sous-ensemble cohérent de la base de connaissances comme le concept à apprendre, et en obligeant l'agent à persévérer dans cette croyance. La propriété essentielle de ce sous-ensemble est la monotonie du raisonnement. Nous distinguons les connaissances de base de l'agent et les connaissances du noyau, formant ensemble les connaissances manifestes, des connaissances constructives, inférées à partir des éléments du noyau. Les relations entre ces différents ensembles définissent le cycle de la construction de la connaissance dans notre système qui minimise les transformations du noyau. Nous formalisons ce noyau central et définissons un mécanisme d'ajout d'un élément de connaissance dans celui-ci.

1. Introduction

Un système d'apprentissage à partir d'exemples reçoit des informations relatives à un domaine d'application sous forme de faits ou de formules. Sur la base de ces informations, le système induit des règles caractérisant le domaine, et émet des hypothèses sur des éléments inconnus du domaine. Nous nous plaçons dans un cadre où la connaissance du système croît incrémentalement. Les hypothèses formulées à partir d'un état donné de la base de connaissances peuvent se révéler inconsistantes dans l'état suivant. Cependant, la consistance de l'ensemble de la base doit être maintenue. La question qui nous intéresse est de savoir comment cet ensemble doit évoluer lorsque des inconsistances apparaissent.

Notre objet est de formaliser un système d'apprentissage automatique qui enrichit sa base de connaissances, pour un domaine d'application, dans une interaction avec un oracle. Nous souhaitons ce modèle formel le plus général possible, non lié à un domaine. Nous avons donc défini un cadre de représentation, par les notions de langage et croyance, sur lequel nous appliquons des opérations de raisonnement qui doivent permettre l'augmentation de la connaissance dans la base, par la recherche de régularités et la construction d'hypothèses sur des éléments inconnus.

L'application répétitive d'un mécanisme d'induction, exhibant les régularités, sur la totalité d'une base de connaissances, et après chaque changement d'état, fait échouer le processus d'apprentissage sur cette base et pour tout domaine d'application pour deux raisons essentielles :

- La généralisation par règles de la totalité d'un domaine, comportant des éléments de nature exceptionnelle, est une ambition vaine. Les nombreux travaux sur la représentation et le traitement des exceptions, qui ont célébrés Tweety, l'oiseau non-volant, tendent à le prouver.

- Un processus d'apprentissage ignorant le caractère évolutif de la base de connaissances est voué à l'échec, une hypothèse pouvant produire une inconsistance dans une base de connaissances ayant changé d'état.

Il importe donc de contrôler les mécanismes générateurs d'hypothèses afin de contrer les deux résultats excessifs : généralisation silencieuse, si la totalité du domaine tente d'être modélisée, ou contradictoire, si des hypothèses formulées sur un sous-ensemble du domaine sont appliquées sur sa totalité.

Dans cet article, une approche formelle, inspirée de la *théorie du noyau central* issue des recherches en psychologie sociale, est présentée. Le principe général est d'émettre une hypothèse sur le concept à apprendre en exhibant un sous-ensemble de la base de connaissances susceptible d'évoluer de façon monotone au cours de l'apprentissage. Une propriété fondamentale, a priori, de ce sous-ensemble est la cohérence. La propriété recherchée au cours de l'évolution est la stabilité. Nous verrons que la définition du noyau central vérifie ces contraintes.

Nous commencerons par présenter succinctement le cadre formel de notre travail, modèle de représentation et de raisonnement, sur lequel nous construisons notre théorie, avant d'évoquer la nécessité d'exhiber un sous-ensemble des connaissances du système afin d'en faire émerger un concept. Nous poursuivrons par une introduction à la gestion des connaissances sociales et à la présentation de la théorie du noyau central. Enfin, nous décrirons le modèle de gestion des connaissances issu de l'application de cette théorie à notre modèle d'apprentissage.

2. Fondements théoriques de la représentation

Nous nous intéressons à la formalisation d'un modèle de représentation de connaissances susceptible d'être construit et critiqué par des agents humains et/ou programmés. Celui-ci doit permettre l'expression de relations entre des énoncés, modéliser l'augmentation de la connaissance au cours d'un processus d'apprentissage à travers la gestion de croyances et, finalement, être capable de proposer des éléments argumentant la valeur de croyance d'une conjecture.

Différents travaux proposent des systèmes basés sur une logique multi-valuée afin de représenter une absence de connaissance ou l'absurdité d'une proposition, et être capable d'utiliser ceux-ci pour l'interprétation de systèmes à logique formelle. Chacun de ces systèmes propose la définition d'un ensemble ordonné de valeurs de croyance.

- Matthew L. Ginsberg [1991], dans sa théorie des logiques multi-valuées, parle de *bitreillis*, définissant un ensemble de croyances avec deux relations d'ordre représentant respectivement une quantité de vérité et de connaissance.
- Delgrande [1987] tente de formaliser l'apprentissage de termes algébriques, en décrivant un symbole de prédicat P comme deux ensembles : P⁺ dans lequel P est connu comme étant vrai, et P⁻ dans lequel ¬P est connu comme étant vrai. Les opérations définies sur ces couples correspondent aux opérations sur le bitreillis des mondes possibles de Ginsberg.
- Le formalisme de Dubois-Prade [Dubois *et al.*, 1987] ou la théorie de Dempster-Shafer [Shafer, 1976] peuvent être formulés comme des bitreillis sur des croyances définies par des intervalles [nécessité, possibilité] ou [croyance, plausibilité].

Le modèle étudié est celui des Théories Semi-Empiriques (TSE) [Sallantin *et al.*, 1991]. Il a pour objet de construire des raisonnements à partir de connaissances, non supposées exactes, capables de progresser par une interaction avec un usager les utilisant pour comprendre un domaine d'application.

Les relations liant les énoncés d'une théorie semi-empirique sont formalisées dans un *schéma mental*, pouvant être assimilé à une base de connaissances.

Un ensemble d'énoncés, partiellement ordonné par la relation "moins général que" (\leq_L), forme un langage.

À tout couple d'énoncés est associée une croyance, élément d'un ensemble de croyances défini comme un bitreillis à partir des deux relations d'ordre "moins vrai que" (\leq_T) et "moins connu que" (\leq_K), dont les bornes sont désignées respectivement par les valeurs *Faux* et *Vrai*, *Silence* et *Contradictoire*.

Un schéma mental représente les interprétations possibles d'un langage par lui-même dans un ensemble de croyances : $\Delta: L \rightarrow L \times C$. L'expression $\Delta(a,b) = c$ est interprétée comme :

si la proposition a est vraie, alors la croyance c est attribuée à b.

En particulier, nous interprétons l'expression $\Delta(a,b)=\text{Vrai}$ par la formule logique $a \supset b$ et $\Delta(a,b)=\text{Faux}$ par $a \supset \neg b$. La croyance *Silence* permet de définir la relation Δ comme une application en signifiant l'absence de connaissance sur une relation entre deux énoncés.

Les règles d'inférence de notre modèle sont les syllogismes classiques. Lorsque deux jugements (relation entre deux énoncés) partagent un même énoncé, ils peuvent être utilisés comme prémisses pour inférer une relation entre deux autres énoncés (non partagés). Nous définissons trois combinaisons possibles de prémisses et de conclusions, correspondant aux trois premières figures de syllogisme issues du carré des oppositions d'Aristote :

1. Conclure $\Delta(S,P)$ de $\Delta(M,P)$ et $\Delta(S,M)$. C'est la *première figure* ou *déduction*. Ce syllogisme permet de propager la connaissance à travers la base, en calculant une "clôture" du schéma mental. On a alors la propriété suivante :

$$\forall M,P,S \square L, \Delta(S,P) \geq_K \Delta(S,M) \square \Delta(M,P)$$
2. Conclure $\Delta(S,P)$ de $\Delta(P,M)$ et $\Delta(S,M)$. C'est la *deuxième figure* ou *abduction*. Par définition l'abduction est hypothétique, et ses conclusions sont moins certaines que celles d'une déduction.
3. Conclure $\Delta(S,P)$ de $\Delta(M,P)$ et $\Delta(M,S)$. C'est la *troisième figure* ou *induction*. Ce syllogisme produit une règle d'inférence par généralisation des prémisses. Il est également hypothétique.

L'application répétitive de ces syllogismes permet l'augmentation de la connaissance, par la production d'hypothèses et de nouvelles conclusions.

3. Raisonner et construire

Les approches théoriques classiques en apprentissage tendent à construire un système consistant, complet, et décidable, à partir d'un ensemble d'axiomes et d'un ensemble de règles de dérivation (type système de Hilbert). Il est possible de répondre aux questions sur le domaine à partir des théorèmes dérivés des axiomes, suivant un certain algorithme. Ces approches nécessitent

- Une absence de limite du nombre d'axiomes, de théorèmes et de règles dans le système à un instant donné,
- Une connaissance complète a priori du domaine, de sorte qu'aucune hypothèse n'est nécessaire,
- Un système, par conséquent, fermé à de nouvelles connaissances.

Un tel système n'a nul besoin de s'adapter ou d'apprendre. Sur un domaine pour lequel les connaissances et les ressources sont suffisantes, nous disposons de bons fondements théoriques et de bons outils.

Nous tentons de concevoir un système de raisonnement capable de travailler et de s'adapter dans un environnement comprenant des connaissances incomplètes. Ce système est dit intelligent dans le sens où il travaille sous une hypothèse de ressources et de connaissances insuffisantes (AIKR) [Wang, 1993].

Nous nous plaçons donc dans un contexte où le système peut produire des conclusions hypothétiques et réfutables.

3.1. Reasonner à partir des données

Supposons qu'un agent dispose d'une base de connaissances constituée des données fournies par un oracle. Cet agent, par induction, généralise les régularités observées sur ces données, puis émet, par abduction, des hypothèses sur les faits inconnus, et complète enfin cette base par déduction.

Ces opérations de raisonnement sont définies à partir des trois syllogismes présentés. Les différentes définitions possibles pour ces opérations déterminent des comportements différents attribués à l'agent.

- Si les raisonnements sont réalisés par majorité, et qu'une majorité faible d'exemples est jugée suffisante pour valider une hypothèse, les résultats obtenus sont à l'évidence peu fiables, et nécessitent donc, par les erreurs observées a posteriori, de nombreuses révisions.
- À l'opposé, si une majorité forte est imposée pour la validation d'une hypothèse, les raisonnements de l'agent se concluent par des résultats silencieux, du fait de la présence d'exceptions et de contre-exemples inhérents à chaque domaine d'application.
- Enfin, si les trois types de raisonnement sont utilisés, sans majorité, selon les opérations logiques qui les définissent (conjonction de faits et/ou de règles), la présence d'une exception parmi un sous-ensemble de données suffit à produire un résultat contradictoire. Le résultat obtenu est opposé au cas précédent : les déductions propageant les contradictions (clôture de la base de connaissances), la totalité de la base devient contradictoire.

La définition et l'application des opérations de raisonnement sont donc des éléments sensibles du système. Un processus de *révision* semble nécessaire afin d'adapter ces mécanismes au domaine d'application et éviter ainsi les deux conclusions extrêmes : base de connaissances silencieuse ou contradictoire. Cependant, un obstacle important à la généralisation reste la présence d'éléments exceptionnels. Un processus d'apprentissage *masquant* certains de ces éléments peut permettre une consistance plus forte d'un sous-ensemble de la base de connaissances.

3.2. Intégrer de nouvelles connaissances

La base de connaissances de l'agent peut changer d'état par ajout d'un nouvel élément. Les hypothèses formulées dans l'état précédent deviennent caduques, il

est nécessaire de renouveler les opérations précédentes sur la totalité de la base afin de reconstruire un ensemble d'hypothèses consistant pour l'état courant de la base. Or notre système doit gérer une croissance incrémentale de la connaissance. Il est inconcevable que pour chaque nouvelle donnée soient recalculées les hypothèses de l'agent.

Nous cherchons donc à définir un schéma mental capable d'intégrer des nouveaux éléments parmi les connaissances présentes, données ou hypothétiques. La solution envisagée consiste à isoler les données et les hypothèses qui constituent un sous-ensemble reconnu comme cohérent, stable, ou fortement connecté. Ce sous-ensemble, contrairement à l'ensemble de la base, sera maintenu de façon à persévérer dans l'hypothèse du *concept* ainsi défini. Le raisonnement dans ce sous-schéma mental sera donc *monotone* : un élément "en accord" avec ce concept sera inclus dans ce sous-schéma mental et participera au raisonnement, un élément contradictoire en sera exclu, tout en étant intégré au reste de la base.

Ce principe de représentation et de gestion des connaissances est voisin de la *théorie du noyau central*, définie en psychologie sociale. Nous la présentons ci-après avant de définir formellement le noyau de notre représentation.

4. Gestion des connaissances sociales

4.1. Les représentations sociales

Les représentations sociales constituent un aspect particulier de la connaissance, dite de "sens commun". La spécificité de cette connaissance réside dans le caractère social des processus qui la produisent.

Serge Moscovici a initié une approche psychosociologique des représentations sociales, abandonnant une distinction classique entre le sujet et l'objet. Ceci conduit à poser qu'il n'existe pas a priori de réalité objective, mais que toute réalité est représentée, appropriée par un individu ou par un groupe, cette réalité appropriée et restructurée constituant la réalité même pour le sujet. Or, cette appropriation résulte de l'individu lui-même (de son vécu, de ses expériences propres) et du contexte social et idéologique qui l'environne.

4.1.1. Propriétés

Nous pouvons définir les représentations sociales comme un ensemble de connaissances, croyances et opinions partagées par un groupe à l'égard d'un objet donné (nous parlons ici d'objets sociaux : la culture, la nature...), dont nous énumérons les propriétés :

- Les représentations sociales entretiennent avec leur sujet des rapports de *symbolisation* et d'*interprétation* résultant d'une activité mentale : le sujet reconstruit la réalité à laquelle il est confronté (Moscovici parle de "*remodelage mental*"). La réalité devient donc différente d'un groupe à un autre.
- Les informations qui proviennent de l'objet sont sélectionnées, toujours catégorisées, transformées

pour les rendre consonantes avec les valeurs du groupe.

- L'activité de production est socialement marquée.

Une représentation¹ est donc sociale si elle est le résultat d'un ensemble d'interactions spécifiques, et si elle est partagée par les individus d'un même groupe. Elle marque de ce fait la spécificité de celui-ci et contribue à le différencier des autres groupes.

4.1.2. Processus

L'activité de production est rendue possible par deux processus d'activité cognitive, l'*objectivation* et l'*ancrage*.

L'*objectivation* est un processus rattaché au fonctionnement de la pensée sociale qui simplifie les informations en provenance d'un objet, concrétise les notions, et résume à partir d'une logique interne au groupe. Cette information est donc décontextualisée et schématisée, on parle de la constitution d'un *noyau figuratif* : les éléments de ce noyau ont un statut d'évidence et sont donc, par ce fait, non négociables.

L'*ancrage* définit l'enracinement social des représentations. La construction d'une représentation s'opère en effet toujours en référence à des croyances, à des savoirs pré-existants, et qui sont dominants dans le groupe.

"La pensée constituante s'appuie sur la pensée constituée pour ranger la nouveauté dans des caves anciennes, dans du déjà connu, avec pour effet des transformations de part et d'autre" [Jodelet, 1989].

4.2. La théorie du noyau central

L'idée de cette théorie [Abric et Mardellat, 1976], reprenant celle du noyau figuratif, est que la représentation est organisée autour d'un noyau central dont la fonction est structurante et qui gère le sens de l'ensemble de la représentation. Ce noyau central sera un sous-ensemble de la représentation, composé d'un ou de quelques éléments dont l'absence la déstructurerait ou lui donnerait une signification complètement différente. Notez que ce n'est pas la dimension quantitative qui importe, mais le fait que celui-ci donne la signification de la représentation, soit sa dimension qualitative.

Ce noyau central d'une représentation a deux fonctions et une caractéristique essentielle. La première de ces fonctions est la *génération*, c'est à dire que le noyau central est l'élément par lequel se crée ou se transforme la signification des autres éléments constitutifs de la représentation. La deuxième fonction est l'*organisation* : il détermine la nature des liens qui unissent entre eux les éléments d'une représentation, il est donc unificateur et stabilisateur de la représentation.

Enfin, la caractéristique essentielle est la *stabilité* : le noyau central est l'élément qui résiste le plus au changement. Cette propriété est possible par la présence d'éléments dits *périphériques* dans la représentation. Ces éléments périphériques sont en relation directe avec le noyau central, leur valeur et leur fonction sont déterminées par ce dernier, afin de permettre une modulation individualiste de la représentation tout en maintenant la stabilité du noyau central. De plus, la transformation de ces éléments périphériques constitue un processus de défense de la représentation face à des informations contradictoires, et d'intégration de nouvelles informations sans déstabilisation.

Une représentation se transforme réellement lorsque le noyau central est transformé. Cette transformation peut être brutale, c'est à dire qu'il peut se produire, compte tenu de telle information, de tel domaine pratique, de tel événement, une attaque directe du noyau central qui aboutit à sa remise en cause immédiate : situation de crise ; mais le mode dominant de l'évolution d'une représentation consiste en une transformation progressive des éléments périphériques, puis celle-ci devenant de plus en plus importante, le noyau central est, à son tour, progressivement transformé.

5. Noyau central et schéma mental

Nous nous inspirons de la théorie du noyau central pour résoudre le problème de gestion de la croissance incrémentale de la connaissance dans notre système. Nous allons définir une notion de noyau, propre à notre système, dont la gestion sera inspirée de celle du noyau central. L'idée est d'extraire de notre base de connaissances un sous-ensemble reconnu comme stable, de désigner celui-ci comme étant le concept à apprendre, et de faire réagir le système de sorte que les valeurs de croyance de ses éléments évoluent monotoniquement. Le caractère social de la représentation étudiée en psychologie sociale est ici abandonnée pour ne considérer que les propriétés de stabilité et les critères de transformation du noyau central.

5.1. Création

Notre critère de stabilité d'un sous-ensemble est lié à sa cohérence. Ainsi, nous émettons l'hypothèse qu'un ensemble d'éléments liés par des valeurs de croyance d'un niveau de connaissance supérieur à un seuil donné est susceptible d'évoluer monotoniquement. Exhiber un tel ensemble revient à extraire d'un tableau binaire, $L_1 \infty L_2$ un *concept*, c'est à dire une partition (N_1, N_2) des deux ensembles L_1 et L_2 , représentant un bloc homogène maximum de 1 [Mephu Nguifo, 1993], par permutations des lignes et des colonnes du tableau [Govaert, 1984] (plusieurs solutions sont possibles). Autrement dit, N_1 est l'ensemble des éléments de L_1 qui vérifient tous les éléments de N_2 (extension), et N_2 est l'ensemble des attributs communs à tous les éléments de N_1 (intension).

¹Dans cette partie, la notion de *représentation* correspond à sa définition psychologique : il existe une représentation, globale et unique.

Si nous définissons un *schéma mental* comme un quadruplet $S=(L_1, L_2, B, \Delta)$ où $\Delta (\Delta: L_1 \times L_2 \rightarrow B)$ définit une relation des deux ensembles d'énoncés L_1 et L_2 vers un ensemble de croyances B muni d'une fonction v d'évaluation du niveau de connaissance d'une croyance, nous définissons comme *noyau de S* le schéma mental (N_1, N_2, B, Δ) tel que :

$$N_1 \cap L_1, N_2 \cap L_2,$$

$$\frac{|N_2 \cap N'_1|}{|N_2 \cup N'_1|} \geq \sigma^e, \text{ et } \frac{|N_1 \cap N'_2|}{|N_1 \cup N'_2|} \geq \sigma^e$$

avec :

$$N'_1 = \left\{ y \in L_2 \left| \frac{|\{x \in N_1 | v(\Delta(x, y)) \geq \sigma^k\}|}{|N_1|} \geq \sigma^m \right. \right\}$$

$$N'_2 = \left\{ x \in L_1 \left| \frac{|\{y \in N_2 | v(\Delta(x, y)) \geq \sigma^k\}|}{|N_2|} \geq \sigma^m \right. \right\}$$

où les valeurs σ^e, σ^k et σ^m désignent respectivement des seuils d'égalité, de connaissance et de majorité.

La construction d'un tel noyau s'opère en trois étapes :

- Retenir, dans le schéma mental initial, les éléments dont la valeur de croyance dépasse le seuil fixé (σ^k), quel que soit l'ensemble de croyances utilisé

Δ	1	2	3	4
a	v11	v12	v13	v14
b	v21	v22	v23	v24
c	v31	v32	v33	v34
d	v41	v42	v43	v44

Δ	1	2	3	4
a	1	1	0	1
b	0	0	1	1
c	1	1	0	0
d	0	0	1	0

- Le résultat est un tableau binaire duquel il faut extraire un bloc homogène maximum de 1,

Δ	1	2	3	4
a	1	1	0	1
b	0	0	1	1
c	1	1	0	0
d	0	0	1	0

Δ	1	2	4	3
a	1	1	1	0
c	1	1	0	0
b	0	0	1	1
d	0	0	0	1

- Le concept ainsi défini permet de désigner un noyau, schéma mental pourvu des valeurs de croyances initiales.

Δ	1	2	4
a	1	1	1
c	1	1	0

Δ	1	2	4
a	v11	v12	v14
c	v31	v32	

Ce noyau représente une hypothèse sur le concept à apprendre. Le comportement de l'agent est tel que celle-ci reste consistante autant que possible.

5.2. Gestion

Afin de maintenir la stabilité de ce noyau, nous avons défini un cycle de gestion de la connaissance dans notre système. En nous inspirant de la gestion de la représentation dans la théorie du noyau central, nous définissons les mécanismes qui permettent de gérer l'apport de connaissance nouvelle pouvant introduire des éléments contradictoires avec la connaissance du noyau. Il convient pour cela de distinguer, dans les connaissances du système, trois sous-ensembles, non nécessairement distincts, désignant les connaissances de base, ou implicites, les connaissances inférées, ou explicites, et les connaissances du noyau.

Levesque [1984] a introduit les notions de connaissances implicites et explicites, reprises par Doyle [1989] comme manifestes et constructives, pour désigner respectivement les connaissances auxquelles l'agent accède directement et celles dérivées, ou obtenues comme des conclusions calculables, à partir des premières. Ces deux types de connaissances sont aussi désignés par "assertions", "axiomes" ou "connaissances de base" pour les connaissances manifestes, et "théorèmes", connaissances "dérivées" ou "inférées" pour les connaissances constructives.

Selon la théorie de Levesque, les connaissances explicites n'ont pas à être consistantes, closes par déduction ou logiquement complètes, de sorte que l'agent émette certaines incapacités observées chez l'humain. L'ensemble de connaissances d'un agent est vu comme une fonction F des connaissances manifestes M déterminant les connaissances constructives C . Selon les définitions possibles du raisonnement, il est concevable d'obtenir, à partir d'un même ensemble de connaissances manifestes, plusieurs ensembles de connaissances constructives. C est alors désigné parmi l'ensemble $F(M)$ ($C \in F(M)$).

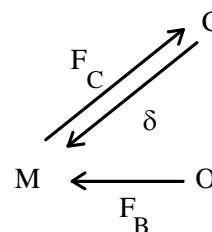


Figure 1 : Les connaissances constructives sont obtenues par application des syllogismes (F_C) sur les connaissances de base (M), constituées des connaissances d'un oracle. Certaines d'entre elles seront désignées comme manifestes (δ).

À partir de cette distinction nous définissons un cycle de construction de la connaissance pour un agent (Figure 1) : un oracle enrichit la base de connaissances de l'agent ; l'ensemble ainsi constitué forme l'ensemble

des connaissances manifestes ; l'application des syllogismes, tels qu'ils ont été définis (section 2), permet d'extraire un ensemble de connaissances constructives parmi les différentes solutions proposées ; enfin, certaines de ces dernières, jugées pertinentes, peuvent être intégrées aux connaissances de base. Ceci décrit le principe général de construction de la connaissance dans notre système.

Cependant, notre objectif, dans un contexte de croissance incrémentale de la connaissance, est d'opérer des changements minimaux sur la base de connaissances constructives, c'est à dire conserver C tel que $C \sqsubseteq F_C(M)$ sans recalculer $F_C(M)$.

Dans ce but, nous décomposons les connaissances manifestes en deux ensembles : les connaissances de base B, et les connaissances du noyau K, avec $K \not\subseteq B$. Nous souhaitons ainsi pouvoir aisément recalculer les valeurs possibles pour C par des changements incrémentaux du noyau, sans avoir à les recalculer à partir des connaissances de base.

La gestion de la croissance incrémentale de la connaissance dans notre système est réalisée par la base de connaissances d'un oracle (O), un ensemble de connaissances de base (B), un noyau (K), et un ensemble de connaissances constructives (C) selon le processus suivant : B est modifié (change d'état) par l'apport des connaissances de l'oracle ; une application F_C sur K détermine l'ensemble des connaissances constructives C ; enfin, comme précédemment, certains des éléments de C peuvent être intégrés aux connaissances de base par une fonction δ .

La procédure de construction du noyau (section 5.1) définit une fonction F_K , déterminant, à partir de B, les différents noyaux possibles. Le choix d'un noyau aussi proche que possible de l'état précédent parmi les alternatives de $F_K(B)$ est réalisé par la fonction μ . K est choisi par l'agent parmi $\mu(K, F_K(B))$. En résumé, nous avons $B \sqsubseteq \delta(C, F_B(O))$, $K \sqsubseteq \mu(K, F_K(B))$, et $C \sqsubseteq F_C(K)$ (cf. figure 2).

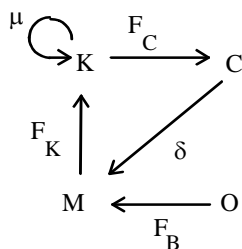


Figure 2 : Les connaissances manifestes sont décomposées en connaissances de base (B) et connaissances du noyau (K), maintenu aussi "stable" que possible.

La procédure de modification de K suit le principe suivant : les nouveaux éléments insérés dans B et jugés cohérents avec le noyau sont intégrés à celui-ci, et les valeurs de croyance des éléments du noyau sont mises à jour (confortées) afin de considérer ce nouvel élément de connaissance ; si au contraire, un nouvel élément est

contradictoire avec les connaissances du noyau, il n'y est pas inséré, et la mise à jour ne concerne alors que les connaissances de base.

Formellement, l'opérateur + désignant la borne supérieure au sens de la connaissance (selon la relation d'ordre (\leq_K) de deux croyances, nous considérons qu'un fait $\Delta(x,y)$ confirme un autre fait, élément du noyau, $\Delta_K(x,y)$, si la relation $v(\Delta(x,y) + \Delta_K(x,y)) \geq v(\Delta_K(x,y))$ est vérifiée (v est une fonction d'évaluation du niveau de connaissance d'une croyance). Dans ce cas, la valeur de croyance du fait $\Delta_K(x,y)$ est remplacée par la valeur de croyance obtenue par la compilation des connaissances $\Delta(x,y)$ et $\Delta_K(x,y)$, soit $\Delta_K(x,y) = \Delta(x,y) + \Delta_K(x,y)$.

Nous désignons comme *masqués* les éléments nouveaux non insérés dans le noyau. Lorsque le seuil définissant la proportion d'éléments masquables autorisée est dépassé, de trop nombreux éléments du schéma mental sont en contradiction avec le noyau, celui-ci est détruit, les hypothèses (obtenues par application des syllogismes) sont recalculées afin d'extraire une nouvelle structure de noyau plus cohérente avec l'ensemble des éléments du schéma mental.

6. Conclusion

Nous avons présenté un formalisme de représentation de connaissances incomplètes capable de faire émerger et de maintenir un concept dans une base de données évolutive. Ce formalisme s'inspire de la théorie du noyau central, issue des recherches en psychologie sociale, décrivant l'organisation des connaissances autour d'un noyau stable maintenu par la présence d'éléments périphériques modulables. La propriété de stabilité et le processus de gestion des informations nouvelles, éléments essentiels de cette théorie, ont servi de fondements à l'élaboration d'un mécanisme de construction de la connaissance.

Nous proposons donc une solution au problème de la gestion de la croissance incrémentale de la connaissance dans notre système d'apprentissage automatique à partir d'exemples. Ce modèle définit un comportement d'un tel système face à l'ajout d'information contradictoire avec les hypothèses existantes, en préservant les connaissances de bases et dérivées.

Nous appliquons ce formalisme, dans une interaction avec un oracle, afin qu'un agent dispose d'une base de faits et de règles solide pour la résolution de problème.

Bibliographie

[Abric et Mardellat, 1976] Jean-Claude Abric et R. Mardellat. *Les représentations sociales de l'artisan et de l'artisanat*. Number 21 in Etudes et recherches du G. I. F. R. E. S. H. Ventabren (13122): G. I. F. R. E. S. H., 1976.

[Delgrande, 1987] James P. Delgrande. A formal approach to learning from examples. In *Proceedings of the 10th IJCAI*, pages 315–322, Milan, Italy, 1987.

[Doyle, 1989] Jon Doyle. Constructive belief and rational representation. *Computational intelligence*, 5(1):1–11, 1989.

[Dubois et al., 1987] D. Dubois, J. Lang, et H. Prade. Theorem proving under uncertainty. a possibility theory-based approach. In *Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 87)*, pages 984–986, Milan, 1987.

[Ginsberg, 1991] Matthew L. Ginsberg. Multivalued logics : A uniform approach to inference in artificial intelligence. Technical report, Department of Computer Science, Stanford University, 1991.

[Govaert, 1984] Gérard Govaert. Classification simultanée de tableaux binaires. In E. Diday, M. Jambu, L. Lebart, J. Pages, et R. Tomassone, editors, *Data analysis and informatics III*, pages 223–236. Elsevier Science, 1984.

[Jodelet, 1989] Denise Jodelet. *Les représentations sociales*. Sociologie d'aujourd'hui. Presses Universitaires de France, Paris, (1994) édition, 1989. Sous la dir. de Denise Jodelet.

[Levesque, 1984] H. J. Levesque. A logic of implicit and explicit belief. In *American Association for Artificial Intelligence. Fourth National Conference on Artificial Intelligence*, pages 198–202, Austin, Texas, 1984.

[Mephu Nguifo, 1993] Engelbert Mephu Nguifo. *Concevoir une abstraction à partir de ressemblances*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, mai 1993.

[Sallantin et al., 1991] Jean Sallantin, Cécile Barboux, Joël Quinqueton, et Jean-Pierre Aubert. Les théories semi-empiriques : éléments de formalisation. *RIA*, 5(1):93–107, 1991.

[Shafer, 1976] G. Shafer. *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1976.

[Wang, 1993] Pei Wang. Non-axiomatic reasoning system (version 2.2). Technical Report 75, Center for Research on Concepts and Cognition (CRCC), Indiana University, 1993.

[Wang, 1994] Pei Wang. From inheritance relation to non-axiomatic logic. *International Journal of Approximate Reasoning*, 11(4):281–319, novembre 1994.