

Tutorial RàPC
Etat de l'art du raisonnement à partir de cas
Plateforme AFIA'99
Palaiseau
17 Juin 1999

Alain MILLE
Equipe Raisonnement à Partir de Cas
CPE-Lyon
am@cpe.fr

11 juin 1999

Ce document est basé sur le chapitre « Etat de l'art » de [Mille98]. Ce chapitre présentait les travaux de la communauté internationale et nationale, à l'exclusion de ceux de notre équipe, naturellement présentés dans les autres chapitres. Un certain nombre ces travaux sont simplement cités dans cette nouvelle version.

La première section de ce document présente un état de l'art sur la situation actuelle et sur les directions prises par les chercheurs au niveau international.

Dans une seconde section, nous traitons plus particulièrement des travaux de la communauté française qui prend sa part dans la recherche internationale, en particulier sur le problème crucial et difficile de la formalisation du RàPC.

Enfin, une troisième section conclue en situant les contributions du RàPC par rapport aux efforts et aux enjeux de la prochaine décennie en intelligence artificielle. Une synthèse parue dans ACM est prise comme base à la présentation.

1 État de l'art sur les recherches en raisonnement à partir de cas

La recherche dans le domaine du Raisonnement à Partir de Cas s'est affirmée d'abord aux États-Unis avec les célèbres conférences « DARPA » commencées en 1988 [Kolodner88], avant de s'imposer en Europe avec la première conférence Européenne en 1993 à Kayerslautern [Richter et al.93], puis avec la première conférence internationale à Lisbonne en 1995 [Velo et al.95]. Ces deux dernières conférences ont lieu en alternance chaque année. Plusieurs sites WEB proposent des bibliographies et des forums sur le sujet. Le plus actif est probablement [<http://www.surveying.salford.ac.uk/ai-cbr-mirror>] qui permet d'atteindre la plupart des autres sites du monde. Il n'existe pas encore de journal spécifique à ce domaine de recherche mais de nombreux journaux ont consacré des numéros spéciaux au raisonnement à partir de cas, et d'une manière générale les publications sur le raisonnement à partir de cas ont acquis leur place dans les journaux spécialisés de l'intelligence artificielle mais aussi dans de très nombreux journaux spécifiques aux domaines d'application principaux comme la conception par exemple.

Il semble que le Raisonnement à Partir de Cas soit maintenant plus orienté vers les sciences cognitives aux États-Unis tandis que les chercheurs européens appartiennent majoritairement à la communauté des techniques de l'intelligence artificielle. De fait, le domaine du Raisonnement à Partir

de Cas constitue un pont « naturel » entre les deux communautés et plusieurs nouveaux projets de recherche mobilisent des chercheurs des deux spécialités.

Nous nous situons naturellement dans la communauté informatique des chercheurs en intelligence artificielle, mais sommes persuadés que l'exploitation de l'expérience pour aider à la tâche de l'utilisateur doit s'appuyer sur les résultats des travaux des sciences cognitives portant sur la manière dont l'homme réutilise son expérience pour la résolution de problème. Il en sera donc souvent question dans la suite du document.

Pour présenter de manière synthétique les tendances actuelles de la recherche en Raisonement à Partir de Cas, nous présenterons d'abord les tendances concernant le paradigme RàPC en tant que sujet de recherche, puis nous nous appuierons sur le modèle maintenant bien établi par [Aamodt et al.94] et illustré dans la figure 1 pour situer les travaux plus spécialisés se rapportant à tel ou tel aspect du RàPC.

Nous ne présenterons pas les outils du RàPC et n'évoquerons les applications (très nombreuses en conception, diagnostic et assistance à l'utilisateur) que par le biais des retombées générales pour la recherche qu'elles ont permises. Pour disposer d'un état de l'art particulièrement complet sur ces derniers points, nous engageons le lecteur à se reporter au dernier ouvrage de Watson [Watson97].

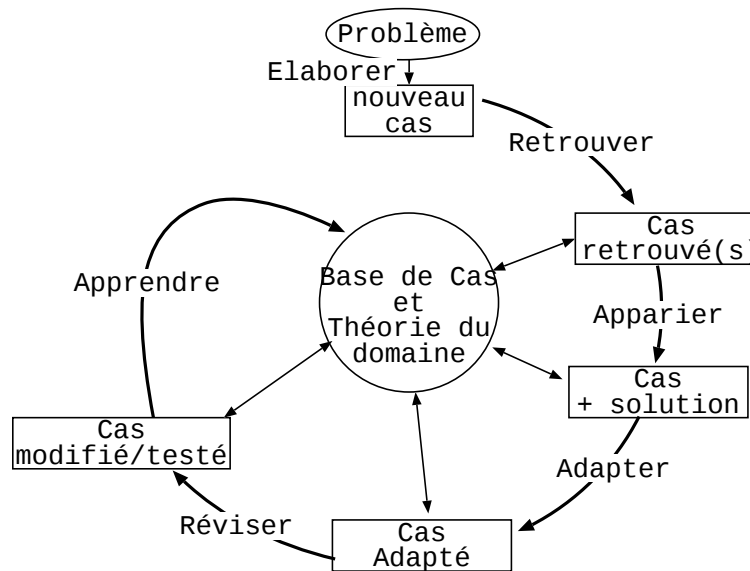


Figure 1: *Le cycle du raisonnement à partir de cas*

Pour mettre en valeur le dynamisme propre de la communauté émergente des chercheurs en RàPC, nous séparerons le tour d'horizon international des contributions que nous avons sélectionnées parmi les contributions récentes en France. Le même plan de présentation sera gardé.

Enfin, nous concluons en situant ces tendances en regard des *Directions stratégiques en Intelligence Artificielle* telles qu'elles ont été synthétisées dans [Doyle et al.96]¹.

2 Le RàPC : Tendances de la recherche.

2.1 Principales tendances au niveau international

Efforts de modélisation et de formalisation du RàPC

1. Ce rapport ne fait pas référence aux recherches sur le Raisonement à Partir de Cas, ce qui n'est pas très étonnant dans le contexte américain, mais fait autorité sur les enjeux majeurs de la recherche en intelligence artificielle.

La modélisation formelle de l'ensemble du cycle RàPC reste à faire. Il s'agit en effet d'un système d'inférences non monotones par essence². Il est habituellement classé comme une sorte de raisonnement par analogie [Haton et al.91], ce qui de notre point de vue occulte la différence importante qui existe entre transfert (Raisonnement analogique [Coulon et al.90]) et adaptation (RàPC)³. Les différentes phases du cycle ont longtemps été considérées comme largement indépendantes. Il est maintenant bien admis que les connaissances exploitées pour mener à bien chaque étape ne sont pas indépendantes et que adaptation et apprentissage se situent au centre d'un réseau de dépendances. Nous retiendrons toutefois deux contributions importantes faites pour formaliser le RàPC dans le cadre de la planification et sous les conditions de connaissances suffisantes pour démontrer la justesse d'une solution, Jana Koelher [Koelher96] propose une formalisation à l'aide de logiques de descriptions qui a l'avantage de rester cohérente pour l'ensemble du cycle mais ne peut que difficilement prendre en compte l'adaptation de cas en l'absence de théorie complète, tandis que Ralph Bergmann et Wolfgang Wilke [Bergmann et al.95] proposent une approche hiérarchique de cas abstraits mais nécessitant un changement de langage de représentation⁴. Nous verrons que la communauté française a fait preuve de beaucoup d'initiative sur ce thème.

La modélisation cognitive qui a mené au paradigme du RàPC est due à Schank et son équipe de recherche [Schank82] qui l'a popularisé en proposant des mécanismes de base pour le mettre en œuvre [Schank et al.89]. Elle connaît de nouveaux développements dans les équipes de Kolodner pour partager l'expérience sur les réseaux [Petrushin et al.96] et Schank dans le domaine de l'enseignement [Schank96]. En Europe des travaux tentant de faire le pont entre modèles cognitifs et systèmes de RàPC se sont intéressés à la modélisation des tâches RàPC pour faciliter l'acquisition de connaissances [Janetzko et al.93]. Ce thème est actif en France également dans le domaine de la réutilisation des connaissances pour la conception.

La modélisation conceptuelle sous la forme du cycle présenté en figure 1 tire ses racines des premiers efforts de présentation globale du RàPC comme [Slade91] ou [Kolodner93] et est maintenant largement partagée dans la communauté.

Nous avons proposé de préciser cette modélisation conceptuelle [Mille95] en nous inspirant de l'approche de modélisation du raisonnement analogique [Py94] et en analysant le rôle spécifique de l'adaptation dans le cycle de raisonnement.

Une modélisation du RàPC au niveau connaissance a été proposée par [Armengol et al.93] (première approche en termes de tâches génériques) en prenant un système particulièrement bien connu CHEF [Hammond86] comme exemple. Cet effort est particulièrement important pour clarifier les types de connaissances et les types d'inférences réalisées pendant le cycle RàPC.

C'est sur la base de ces travaux que nous avons proposé une modélisation des tâches du RàPC [Fuchs97].

Une modélisation du RàPC en logique floue a été proposée par Yager dès 1996 dans [Yager96] et précisée dans [Yager97]. Le mode d'inférence est considéré comme fondamentalement de même nature et pour cela le cycle est réduit à deux étapes principales : l'étape de comparaison et l'étape de composition d'une solution. Deux techniques sont suggérées pour réaliser la composition de solution en RàPC : la médiane pondérée quand les actions du domaine sont constituées d'une liste ordonnée d'alternatives et une variante d'apprentissage par renforcement, pour les domaines dont les actions impliquent une sorte de plan. Nous verrons que ce rapprochement entre RàPC et logique floue a été également mené quasiment simultanément en France (et en Espagne) sur des bases différentes.

Une modélisation spécifique aux cas complexes utilisés en conception a été proposée. Une série

2. Dans un système d'inférences monotone : si $A \models B$ alors $(A \wedge C \models B)$, ce qui n'est évidemment pas garanti dans un raisonnement à partir de cas où l'inférence que l'on peut tirer d'un fait constaté dépend complètement de son contexte.

3. Le transfert consiste à réaliser une mise en correspondance d'un réseau d'explications à un autre réseau d'explications sur la base d'une analogie « de forme d'explications », alors que l'adaptation consiste à réutiliser des explications analogues pour substituer des éléments de solutions par d'autres éléments choisis selon l'écart d'explication à réduire [Mille95].

4. L'abstraction des cas est faite dans un langage de description qui n'est pas celui des cas eux-mêmes.

de travaux⁵ ont fortement influencé la manière dont les problèmes de conception sont abordés avec le RàPC. Une synthèse de ces travaux est faite dans [Maher et al.95] qui pose le principe de trois formes de connaissances : un modèle de décomposition de problèmes en sous-problèmes, un modèle de descriptions d'épisodes de conception qui correspondent à la résolution de sous-problèmes, et un modèle d'adaptation sous forme de règles de transformation de formes.

Pour compléter ce tour d'horizon, nous devons citer la proposition « synthétique » du *Memory Based Reasoning* faite dès 1986 [Stanfill et al.86] qui intègre l'ensemble du cycle dans un mécanisme d'activation mémoire, étudié sous un angle plus théorique dans [Brown93] qui étudie le modèle de mémoire sous-jacent sous la forme d'un réseau avec passage de jetons, et mis en pratique sur un réseau massivement parallèle avec les travaux de Kitano pour la traduction automatique [Kitano et al.92], [Kitano93]. Le parallélisme a d'ailleurs été étudié séparément, pour accélérer la recherche de cas et une intéressante proposition a été faite dans ce sens pour le domaine de la planification [Kettler et al.94] qui permet d'envisager d'exploiter une très grande base de cas dans des conditions d'efficacité garantie.

Nous avons commencé l'exploration de cette voie pour étudier ses possibilités d'auto-adaptation [Boucard96].

La recherche se décline ensuite classiquement selon les différents champs plus spécialisés d'étude du RàPC et en particulier :

- **La représentation des cas.** Au-delà de la traditionnelle représentation des « cas vecteurs » un nombre important de travaux se sont intéressés à la représentation des cas complexes [Voss96b], [Bartsch sporl95] notamment pour l'aide à la conception.

Nous avons été amenés à développer un langage objet pour la représentation des cas complexes dans le domaine de l'aide à la décision [Fuchs97].

- **L'élaboration du cas.** Ces travaux visent à la mise en évidence de la pertinence de cas incomplètement décrits [Bento et al.93], ou cherchent à anticiper l'adaptabilité des cas qui seront remémorés [Leake et al.97a]. Nous avons pour notre part étudié cette partie dans le cadre des applications industrielles pour faciliter la description « gagnante » d'un cas [Herbeaux et al.98].
- **L'organisation des cas.** De nombreux travaux s'intéressent à l'organisation de la mémoire des cas pour améliorer l'efficacité de la recherche soit en prenant en compte l'efficacité des remémorations précédentes [Fox et al.95] ou plus classiquement en développant des techniques de gestion d'arbres de décision de plus en plus performantes [Breslow et al.97]. Le problème des très grandes bases de cas a été posé [Shimazu et al.93] mais cette question est en train de se renverser : comment « voir » les bases de données comme des bases de cas. Cette question est liée aux travaux sur la capitalisation des connaissances dans l'entreprise [Thompson97].
- **La remémoration des cas.** Le choix d'une mesure de similarité est déterminant pour l'efficacité du RàPC. On a assisté à un foisonnement de propositions spécifiques issues aussi bien des travaux de l'analyse de données [Diday et al.82], que du monde des métriques mathématiques [Critchley et al.92] ou [Batagelj et al.95], qu'en psychologie cognitive [Tversky77], sans oublier les travaux spécifiques au domaine de l'intelligence artificielle comme [Bisson94]. Une part importante de la recherche s'est donc focalisée sur la recherche de mesures de similarités les plus génériques possibles. La sémantique d'une mesure de similarité est largement liée à la tâche de résolution de problème concernée comme l'a démontré Michael Richter [Richter95b]. La question de la similarité est : quelles sont les chances que ce cas ancien soit utilisable pour résoudre ce nouveau cas sachant qu'ils sont proches sur un certain nombre de points. Les approches s'inspirant de la théorie de Dempster-Shafer sont particulièrement étudiées [Richter95a]. Les équipes

5. Ces travaux ne sont pas toujours référencés dans la communauté du RàPC mais ont été abondamment publiés dans la communauté de la recherche en conception.

françaises ont été particulièrement actives dans ce domaine comme nous le verrons dans la section qui leur est consacrée. Une étude théorique a été très récemment publiée dans [Rudolph97] qui tente de montrer le type d'inférence que la similarité porte réellement.

Notre contribution s'est limitée à la proposition de mesure de dissimilarité conceptuelle et événementielle pour prendre en compte la dynamique de situations pour un projet de supervision [Mille et al.99].

- **La réutilisation et l'adaptation.** L'adaptation a fait l'objet de nombreuses propositions dans les premières années de la recherche sur le RàPC ([Barletta89], [Converse et al.89], [Gentner89], [Hinrichs89], [Kass89], [Turner89] par exemple), et une classification des différents types d'adaptation est faite par Janet Kolodner dans [Kolodner93]. Ce classement est fondé sur les différences de méthode (transformationnel/dérivationnel) et sur les différences de recherche des règles d'adaptation (règles simples liées aux variables, règles de modification de structure, ou recherche de valeur à remplacer par proximité mémoire). La phase d'adaptation a fait l'objet d'efforts plus systématiques depuis quelques années comme l'a montré l'atelier sur l'adaptation organisé à l'occasion de la conférence européenne sur l'intelligence artificielle de 1996 [Voss et al.96]. Dans la dynamique de cette conférence, Angi Voß propose dans [Voss96a] une liste de critères pour classer les types d'adaptation réalisés dans un certain nombre de systèmes RàPC réalisés dans la communauté. Les critères de classification reprennent les critères classiques de type d'opérateur d'adaptation, mais sont étendus à la prise en compte du type de cas, du nombre de cas utilisés pour l'adaptation et sur l'évaluation de l'adaptation.

Appliqué par exemple au domaine de la conception architecturale [Smith et al.95], les propositions faites dans [Purvis et al.95] exploitent les contraintes pour guider l'adaptation. Cette approche garantit des solutions cohérentes globalement quelle que soit la partie de cas adaptée. Elle suppose toutefois que le jeu de contraintes soit complet et correct, ce qui reste une tâche d'acquisition de connaissances difficile.

L'équipe du Trinity College à Dublin, quand à elle, s'est attachée à étudier l'adaptation dans plusieurs de ses aspects comme la complexité [Smyth et al.93] ou les dépendances qui existent entre les tâches et la connaissances d'adaptation [Hanney et al.95]. Enfin plus récemment, ils proposent d'apprendre des règles d'adaptation à partir des cas eux-mêmes [Hanney et al.97].

Plus récemment encore [Wilke et al.98] propose une étude des connaissances et des techniques d'adaptation en différenciant deux familles distinctes : la famille des méthodes fondées sur la transformation des solutions et la famille des approches « génératives », c'est à dire capables éventuellement de trouver la solution à partir de rien⁶. Ils complètent leur étude en faisant une place à l'adaptation compositionnelle [Velo97], qui consiste à adapter différentes parties d'un cas à partir de différents cas et selon des stratégies qui peuvent donc varier dans le spectre précédent.

Une contribution essentielle (à notre sens) a été faite dans [Hanks et al.95] qui propose un algorithme d'adaptation de plan fondé sur les cas et indépendant du domaine (SPA comme Systematic Plan Adaptor). Bien que, par nature, il s'agisse d'un algorithme génératif, l'effort pour le rendre indépendant des opérateurs (souvent liés au domaine) le rend particulièrement intéressant comme base de travail.

La communauté française a également participé activement à ce thème de recherche comme nous le verrons plus loin.

- **La révision et la mémorisation des cas :** des travaux très récents [Stroulia et al.98] proposent d'utiliser l'évaluation pour guider la mémorisation qui prend alors un véritable statut

6. Cette décomposition approfondit et précise celle qui avait été faite entre les adaptations transformationnelles et dérivationnelles.

d'apprentissage. Nous trouvons dans [Leake et al.97b] une approche plus pragmatique. Le processus d'adaptation est au centre du dispositif et trois différents types d'apprentissage sont exposés : l'apprentissage de cas comme des plans-réponses, l'apprentissage d'adaptation de cas et l'apprentissage de la similarité. L'apprentissage de plans réponse consiste à intégrer un nouveau plan (adapté d'un ancien ou non) dans la base. L'apprentissage de l'adaptation consiste à mémoriser des cas d'adaptation et à les indexer en fonction de leur utilisation. L'apprentissage de la similarité est fondé sur l'estimation d'un coût d'adaptation. Basé sur le couple nouveau problème - problème remémoré, un cas d'adaptation est recherché qui servira de base à l'estimation du coût d'adaptation. L'association de ces différentes approches d'apprentissage est toujours meilleure que l'utilisation d'une seule. La tâche de résolution de problème est opportuniste par essence et l'évaluation des réponses permet de gérer les conséquences d'incohérences locales. Lié à l'apprentissage, une approche originale a été proposée dans [Smyth et al.95] pour trouver des indices permettant « d'oublier » les cas qui ne seraient plus utiles dans une base.

Nous insistons sur cette approche liant apprentissage et adaptation parce qu'elle est une de nos sources d'inspiration pour l'étude du processus d'apprentissage à partir d'expérience tel que nous l'envisageons dans nos nouveaux thèmes de recherche.

Pour compléter ce tour d'horizon international, il convient de présenter les efforts de la communauté française. Cette communauté est récente, se structure sans précipitation, mais est très active. Nous participons à l'animation de ce groupe français de recherche et nous avons eu l'occasion de présenter une synthèse de ses travaux [Mille et al.97] que nous reprenons ici en la complétant.

2.2 La recherche sur le raisonnement à partir de cas en France

Les contributions récentes s'organisent autour de quelques thèmes majeurs :

1. Modélisation et formalisation du RàPC

Nous distinguerons différentes approches :

- **La modélisation cognitive du raisonnement à partir de cas chez l'Homme.** Une série de travaux ont été consacrés à l'INRIA à l'étude de la réutilisation des connaissances chez l'homme et en particulier par la réutilisation de plans de résolution de problèmes [Visser94]. Il est important de noter que l'approche cognitive du RàPC fait partie intégrante des efforts de la recherche en RàPC de la même façon que les travaux d'inspiration plus « informatique »⁷.
- **La formalisation du raisonnement à partir de cas par les logiques de description** Après le travail inaugural de Jana KOELHER [Koehler94], des travaux proches ont été présentés dans [Napoli et al.96], et une étude de la formalisation du RàPC dans une logique de description est décrite [Salotti et al.97] au moyen de critères homogènes, explicites et formels⁸. Les cas sont organisés grâce à une taxinomie de concepts index, ce qui permet d'exploiter l'opération de classification automatique de la logique de description pour rechercher des cas similaires. Une phase d'apprentissage supervisé de concepts index est facilitée par un algorithme fondé sur la recherche du plus spécifique subsumant de deux cas.
- **Modélisation fondée sur les ensembles flous.** [Dubois et al.97], comme [Yager96], s'appuient sur des travaux menés sur l'interpolation fondée sur des relations de similarité pour proposer des modèles fondés sur les règles floues pour le Raisonnement à Partir de

7. Willemien Visser a ainsi animé avec Brigitte Trousse un atelier commun à l'occasion d'IJCAI'93 sur la réutilisation en conception et les journées françaises rassemblent régulièrement les deux communautés

8. Une généralisation de ce travail a été présentée pour l'appliquer aux graphes conceptuels dans [Faron et al.97].

Cas. Dans ces approches, un cas est vu comme un nuplet de valeurs d'attributs précises. Les attributs sont séparés en un ensemble S pour la description du problème (S comme Source) et T pour les attributs solution (T comme Target)⁹. L'hypothèse (forte) est faite que tous les attributs sont renseignés. L'adaptation est présentée comme une sorte d'interpolation pour obtenir les valeurs de T sachant la(dis)similarité existant entre les descriptions de problèmes S . L'existence de mesures de similarité entre attributs problème $\mathbf{S}$ et attributs solution $\mathbf{T}$ est supposée établie. Enfin la connaissance de fonctions de dépendances entre les attributs problème et attributs solutions est supposée également établie. Dans son expression la plus proche de l'esprit du RàPC, les auteurs posent que :

*Les plus similaires sont les problèmes s_1 et s_2 ,
le plus il est possible que les solutions t_1 et t_2 soient similaires.*

La proposition peut se formuler sous la forme d'une règle de possibilité :

$$\begin{aligned}\pi_{X|Y}(v, u) &\geq A(u) \text{ si } v \in B \\ \pi_{X|Y}(v, u) &\geq 0 \text{ si } v \notin B\end{aligned}$$

où $\pi_{X|Y}(v, u)$ estime à quel point $Y = v$ est possible quand $X = u$.

On peut dire plus littéralement : $\forall u$, si $X = u$, il est possible au moins au degré $A(u)$ que Y prenne sa valeur dans B . Si les travaux sur la similarité avaient déjà exploité les variables linguistiques¹⁰ pour manipuler les connaissances et donc avaient exploité les mécanismes de calcul provenant de la logique floue, cette approche formelle permet d'analyser plus précisément en quoi le RàPC est une sorte de raisonnement hypothétique dans l'incertain.

2. **La représentation des cas.** Des contributions intéressantes ont été faites pour la représentation des cas décrivant des historiques. Un projet de modélisation de propagation d'incendie pour l'aide à la décision a été l'occasion de développer un modèle de cas permettant de représenter et manipuler des données temporelles et spatiales [Rougegrez loriette94]. Par ailleurs, et dans un esprit qui relève plus du génie logiciel, [Jaczynski et al.97] propose un environnement de développement d'applications fondées sur le RàPC et permettant la manipulation des historiques selon plusieurs méthodes. Ce système a été utilisé avec succès en particulier sur une application d'assistance à la recherche d'informations sur le WEB pour un groupe d'utilisateurs [Jaczynski et al.97]. [Corvaisier et al.98] a proposé une modélisation d'épisodes de recherche d'information sur le WEB, intégrant les notions de session de recherche, de tentatives unitaires, d'unités de recherche et de vocabulaire utile pour réutiliser l'expérience.

3. **La remémoration.** Ce thème se décline selon plusieurs sous-thèmes :

- *Travaux sur les similarités.* Annonceur de l'étude théorique présentée dans [Rudolph97], [Sebag et al.93] a proposé une mesure de similarité fondée sur les règles, ce qui nécessite de voir chaque cas comme une règle avec comme prémisse les faits constitutifs du problème et en conclusion les faits déduits constituant la solution. Les propriétés de classification se sont révélées convaincantes. C'est dans le cadre d'une boîte à outils pour un atelier RàPC que [Mignot97] propose de tenir compte de la structure d'un cas pour construire en parallèle la définition d'une mesure de similarité. L'élaboration de cette mesure est donc guidée par une métaconnaissance sur les effets de contexte sur la pertinence des mesures. De son côté, [Rifqi96] a élaboré une formalisation des *mesures de comparaison*, qui permet de comparer des objets décrits à l'aide d'attributs dont les valeurs sont floues. L'auteur a déterminé deux

9. Cette distinction Source/Target est inhabituelle. En effet, un cas source est habituellement un cas de la bibliothèque, tandis que le cas cible est le cas à résoudre. Dans le contexte de l'article, les attributs source sont ceux qui permettront de retrouver les cas source, tandis que les attributs cibles sont ceux qui doivent être évalués.

10. L'usage de symboles représentant sous la forme d'un terme « bien choisi » une valeur « floue ». Par exemple, *jeune* est une variable linguistique dès l'instant où une fonction d'appartenance lui est associée.

familles principales de mesure constituant ainsi une extension du modèle de contraste de Tversky : les mesures de similitude (satisfaisabilité, inclusion et ressemblance) et les mesures de dissimilarité.

- *Travaux sur l'organisation des cas en hiérarchie d'objets.* C'est une façon de préparer par avance le raisonnement lui-même dès l'instant où le RàPC est considéré comme une extension du raisonnement par classification dans le contexte de résolution de problème [Koelher96]. [Napoli et al.96] formalise cette approche dans le cadre d'une représentation basée sur les objets. C'est dans ce même esprit que [Coupey et al.96] étend les logiques de description pour formaliser le processus de remémoration en RàPC.
- *Organisation hybride de la mémoire des cas (neuronal/cas prototypes et instances).* [Malek96] propose d'utiliser un réseau neuronal à apprentissage incrémental fondé sur des cas prototypes pour organiser la mémoire de cas. La mémoire est constituée de deux niveaux : le niveau supérieur contient les prototypes qui représentent chacun un groupe de cas, tandis que le niveau bas est utilisé comme index pendant la phase de recherche de cas. Un mécanisme d'apprentissage continu permet de grouper dynamiquement les cas sous de nouveaux prototypes.

4. **L'adaptation.** : Une contribution originale et générique est proposée dans [Lieber97] sur des principes énoncés dans [Lieber et al.96] qui consiste à anticiper l'adaptation dans le processus même de remémoration, ce qui est l'idéal théorique pour trouver une solution facilement (et éventuellement sûrement) adaptable. Pour y parvenir, un ordre partiel, noté $\succsim$ est défini sur l'ensemble des problèmes selon la définition : $pb_1 \succsim pb_2$ si toute solution de pb_1 peut se spécialiser en une solution de pb_2 . On associe à un problème source *source* de la base de cas un problème noté $idx(source)$ appelé index de *source* plus général que *source* : $source \preccurlyeq idx(source)$ et tel que la solution $sol(source)$ est généralisable en une solution $sol(idx(source))$. L'ensemble des index est organisé en une hiérarchie notée $\mathcal{H}_{idx}$. Pour résoudre un problème nouveau (*cible*), une description de *cible* est d'abord classifiée dans la hiérarchie $\mathcal{H}_{idx}$, ce qui permet d'identifier un ensemble d'index IDX composé d'éléments $idx(source)$ vérifiant : $idx(source) \succsim cible$. Deux cas sont alors possibles :

- soit IDX est non vide et il existe un *chemin de similarité* tel que $source \preccurlyeq idx(source) \succsim cible$ et l'adaptation se réalise en deux étapes :
 - *généralisation* de $sol(source)$ en $sol(idx(source))$, en suivant la relation $source \preccurlyeq idx(source)$,
 - *instanciation* de $sol(idx(source))$ en $sol(cible)$, en suivant la relation $idx(source) \succsim cible$
- soit IDX est vide, alors on essaie de revenir au cas précédent en effectuant des modifications sur certains index de la hiérarchie $\mathcal{H}_{idx}(\psi(idx(source)))$ et sur *cible* ($\varphi(cible)$) par des règles de réécriture de façon à arriver à $source \preccurlyeq idx(source) \rightarrow \psi(idx(source)) \succsim \varphi(cible) \leftarrow cible$, c'est à dire à un chemin de similarité connu, donc permettant l'adaptation.

Cette approche a été combinée avec des propositions de notre équipe et sera présentée dans le cadre de la conférence [Fuchs et al.99].

5. **L'apprentissage** Une contribution à l'intégration de l'apprentissage dans le cycle RàPC est proposée dans [Bichindaritz94] dont le système MNAOMIA permet l'apprentissage incrémental de concepts, pendant la réalisation des tâches comme le diagnostic, la planification d'un traitement ou le suivi d'un malade. Plusieurs hiérarchies de concepts différentes sont définies selon les différentes tâches cognitives. Cette association étroite de la représentation des concepts à la tâche est naturelle dans les systèmes de raisonnement à partir de cas.

3 La recherche dans le domaine RàPC par rapport aux directions stratégiques de la recherche en Intelligence Artificielle

Il serait particulièrement vain de vouloir énoncer des directions stratégiques de la recherche qui soient partagées par l'ensemble de la communauté internationale, mais il est important de choisir une référence pour situer nos recherches et leur orientation. Nous avons choisi de prendre comme grille d'analyse le rapport de Jon Doyle et Thomas Dean [Doyle et al.96] qui s'efforcent de tracer les lignes principales se dégageant des recherches menées, des réalisations réussies et tentent une formulation des enjeux de la décennie. La catégorisation proposée de la recherche en IA ¹¹ rassemble des domaines d'application et des branches thématiques théoriques :

1. Articulation ¹² et représentation des connaissances ¹³.
2. Apprentissage et adaptation qui étend les techniques de découverte statistique, analytique et scientifique et les mécanismes hypothétiques neurophysiologiques aux procédures qui extraient un large spectre de tendances générales, de faits et techniques à partir de règles, d'expérience et de données collectées.
3. Échanges de vues, planification et actions qui concernent les méthode d'aide à la décision, de construction de plans, de conception pour atteindre des buts spécifiés et le contrôle, l'interprétation, le diagnostic et la modification de plans comme la mise en œuvre des conceptions.
4. Parole et traitement du langage.
5. Interprétation d'image et synthèse d'image.
6. Manipulation articulée et déplacement autonome qui couvrent le champ de reproduction des degrés de liberté de l'homme dans l'usage de ses mains et des ses jambes pour l'accomplissement de ses tâches.
7. Agents autonomes et robots.
8. Systèmes multiagents pour étudier et mettre en place des comportements de résolution de problème en groupe.
9. Modélisation cognitive qui se focalise sur la simulation des traits comportementaux de la cognition chez l'homme.
10. Fondements mathématiques, qui s'emparent des techniques et concepts des autres branches comme autant de sujets de formalisation, d'analyse et de reconceptualisation.

Il nous semble que les sciences cognitives modernes fondées sur l'étude directe du cerveau par l'image en résonance magnétique auraient leur place dans cette catégorisation, et que la réutilisation des connaissances comme sujet d'étude devrait apparaître également.

Néanmoins des directions de recherche sont proposées qui s'appuient sur les résultats énoncés plus haut et qui visent des objectifs à la fois plus rationnels et plus ambitieux :

1. Poursuite de l'intégration des différents mécanismes de l'intelligence artificielle pour réaliser des systèmes multifacettes et en particulier :
 - modifier radicalement la nature du processus de programmation de telle façon que le programmeur puisse travailler avec des assistants intelligents facilitant toutes les tâches de réalisation d'un système informatique ;

11. Nous garderons cet acronyme IA pour Intelligence Artificielle dans la suite du document.

12. Articulation s'entend comme mécanismes de mise en relation des différents types de connaissances.

13. Il s'agit de créer et compiler des catalogues explicites, formels et multifacettes de connaissances « ontologiques ». La nature ontologique des connaissances reste une question ouverte.

- supprimer les différences existantes entre les bases de données et les bases de connaissances ;
- supprimer les différences de traitement entre les logiques de description et les systèmes à objet et entre la programmation logique et les systèmes de programmation traditionnelle¹⁴ ;
- prendre en compte le temps réel et contraint dans les solutions en favorisant des évolutions continues du raisonnement¹⁵ ;
- Rendre les ordinateurs plus faciles à utiliser, en particulier en facilitant leur personnalisation.

Cette dernière direction est naturelle pour le RàPC qui par la nature même de son cycle emprunte à plusieurs domaines de l'intelligence artificielle.

2. Construction de robots (physiques et simulés). Ce point est évidemment en rapport avec le précédent, puisqu'il ne s'agit pas d'un domaine particulier mais d'une intégration la plus forte possible de très nombreuses disciplines pour fournir au robot-logiciel ou au robot-matériel des capacités d'adaptation toujours plus grande dans la résolution de problème. Nous considérons que la notion d'adaptation et de remémoration sont étroitement liées et qu'en conséquence le paradigme du RàPC pourrait tout à la fois se nourrir de cette direction et y contribuer en retour.
3. Modéliser la rationalité. Il s'agit de donner un sens « économique » à la rationalité, c'est à dire la comprendre comme tout ce qui contribue à améliorer la cohérence d'un système en termes d'explications, de justifications et de vérifications, à augmenter sa compétence en termes de performances, et à faciliter sa construction en termes de facilités de conception et de développement. C'est bien ce type de rationalité « pragmatique », c'est à dire mesurée à l'aune de la réussite de la tâche, que le RàPC exploite pour résoudre des problèmes. Adopter ce type de rationalité ouvre bien entendu les portes des applications du domaine de l'économie.
4. Assister la collaboration. Pour démontrer leur utilité comme assistants, les systèmes d'IA doivent interpréter les « mots » et les « besoins » des utilisateurs de façon à modéliser les souhaits, les intentions et les possibilités de ces personnes. Réaliser ces interprétations signifie souvent se fonder sur des propriétés statistiques de comportements et choisir comment coopérer signifie souvent évaluer et négocier les préférences des différents acteurs. C'est probablement dans cette direction que l'intégration du RàPC peut se révéler un facteur de réussite considérable par sa double capacité à estimer statistiquement (similarité) les comportements et à proposer des adaptations directement liées au contexte. Nos travaux en cours et prévus sont tendus vers l'assistance efficace et en contexte aux tâches difficiles [Prie et al.98], [Prie et al.99b], [Prie et al.99a] .
5. Améliorer la communication. Un certain nombre de priorités sont dégagées dans cette direction et en particulier :
 - introduire les contrôles gestuels et parlés dans les appareils de tous les jours ;
 - automatiser la formalisation de la connaissance à partir des livres et autres textes ;
 - procurer la traduction simultanée entre plusieurs langues et lecture parlée de documents écrits ou électroniques ;
 - autoriser l'utilisation du langage parlé ou du langage écrit pour interroger des « bases de données-connaissances » de grande taille (annuaires, bibliothèques, catalogues, etc.).

14. Ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas de différences, mais que les environnements de développements doivent présenter les mécanismes typique de l'IA exactement de la même façon que n'importe quel autre mécanisme de programmation.

15. Algorithmes « anytime ».

Même si le « Memory Based Reasoning » connaît un grand succès pour les applications de traduction [Kitano et al.93], [Kitano93], il n'existe pas à notre connaissance de travaux spécifiquement RàPC permettant des avancées significatives dans ce domaine. Nous pensons que le RàPC intervient dans la qualité de la communication plutôt pour l'assister que pour intervenir directement sur le médium lui-même.

6. Obtenir des connaissances. Il reste là une volonté de connaissances universelles, qui donne à cette direction une ambition considérable. Les auteurs énoncent des priorités :
 - construire des encyclopédies de connaissances, d'abord générales, puis capables de couvrir toutes les méthodes et connaissances de l'homme¹⁶ ;
 - déterminer les moyens les plus efficaces de représenter l'information pour différentes utilisations, et tout en même temps être capable de faire coopérer différents types de connaissances ;
 - développer des systèmes d'enseignement automatisés (exploitant éventuellement les encyclopédies construites) qui utilisent les questions et les observations de l'étudiant pour modéliser ses connaissances, ses qualités et son style d'apprentissage et pour adapter la fabrication des leçons et exercices aux besoins de l'étudiant ;
 - concevoir des organisations et des entreprises qui s'améliorent en exploitant leur expérience pour apprendre leurs forces et faiblesses cachées ;
 - automatiser les domaines les plus routiniers et générateurs massifs de données de la recherche scientifique, statistique, industrielle et commerciale.

Cette direction est la plus riche en retombées pour le RàPC, en particulier pour tout ce qui touche à l'exploitation du retour d'expérience.

7. Approfondir les bases théoriques de l'intelligence artificielle. Il s'agit d'asseoir encore mieux les fondements scientifiques formels et en particulier les mathématiques du domaine. Nous avons ici un champ particulièrement ouvert en RàPC pour aller plus loin que la modélisation conceptuelle, vers la modélisation formelle. Nous considérons toutefois que cette recherche nécessitera de gros efforts transdisciplinaires pour réussir.

4 Synthèse concernant les axes à développer en raisonnement à partir de cas

L'exercice consistant à se projeter dans l'avenir est toujours périlleux, et situer les axes de recherche selon la grille précédente sera sûrement critiqué. Toutefois, l'expérience de notre équipe au travers de ses différentes contributions, nous incite à penser que l'avenir de la recherche en raisonnement à partir de cas est à chercher dans deux directions principales :

- L'exploitation des cas de résolution de problème comme support de validation de l'apprentissage des connaissances dans l'entreprise. L'interconnexion explicite et organisée des cas de résolution et des connaissances partagées dans l'entreprise nous semble un axe de recherche très important pour voir déboucher de nouvelles organisations des systèmes d'information dans l'entreprise.
- L'utilisation massive des ordinateurs pour l'accès à des informations et des services, indépendamment de tâches spécifiques préétablies, impose de se poser la question de la plasticité des systèmes informatiques fournisseurs de service aux innombrables façons de les utiliser en fonction de tâches

16. Nous considérons qu'il s'agit plus d'un moteur pour la recherche qu'une fin en soi.

de plus en plus personnalisées. La capitalisation de l'expérience concrète (traces directes d'utilisation), et la mise au point progressive de modèles des tâches (découverts, c'est-à-dire appris semi-automatiquement) associées à cette utilisation concrète est un enjeu considérable pour la recherche de nouveaux types de coopération entre l'homme et la machine.

Références

- [Aamodt et al.94] Aamodt (A.) et Plaza (E.). – Case based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AICOM*, vol. 1, Mars 1994, pp. 39–59.
- [Armengol et al.93] Armengol (E.) et Plaza (E.). – Case-based reasoning at the knowledge level: An analysis of chef. *First European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR'93*. pp. 290–295. – University of Kaiserslautern, Germany, 1993.
- [Barletta89] Barletta (R.). – Case adaptation in autoclave layout design. *Workshop on case-based Reasoning, DARPA 89*. pp. 203–207. – Morgan-Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Bartsch sporl95] Bartsch-Spörl (B.). – Towards the integration of case-based schema-based and model-based reasoning for supporting complex design tasks. *First International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'95*, éd. par Veloso (M.) et Aamodt (A.). pp. 144–156. – Sesimbra, Octobre 1995.
- [Batagelj et al.95] Batagelj (V.) et Bren (M.). – Comparing resemblance measures. *Journal of Classification*, vol. 12, 1995, pp. 73–90.
- [Bento et al.93] Bento (C.) et Costa (E.). – A similarity metric for retrieval of cases imperfectly described and explained. *First European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR'93*. pp. 8–13. – University of Kaiserslautern, Germany, 1993.
- [Bergmann et al.95] Bergmann (R.) et Wilke (W.). – Building and refining abstract planning cases by change of representation language. *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 3, 1995, pp. 53–118.
- [Bichindaritz94] Bichindaritz (I.). – *Apprentissage de Concepts dans une mémoire dynamique: raisonnement à partir de cas adaptable à la tâche cognitive*. – Thèse d'informatique, Université René Descartes Paris V, France, 1994.
- [Bisson94] Bisson (G.). – Définition de la similarité dans les modèles à objet. *Actes de LMO94, Grenoble*, pp. 70–86. – 1994.
- [Boucard96] Boucard (F.). – *Etude et implantation d'une mémoire de cas distribuée sur un réseau d'ordinateurs*. – Rapport de DEA, DEA d'Informatique de Lyon, UCB/ENS/INSA, Lyon, 1996.
- [Breslow et al.97] BRESLOW (L.) et AHA (D.). – Simplifying decision trees: a survey. *Knowledge Engineering Review*, vol. 12, n° 1, 1997, pp. 1–40.
- [Brown93] Brown (M. G.). – An under-lying memory model to support case retrieval. *First European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR'93*. pp. 20–25. – University of Kaiserslautern, Germany, 1993.

- [Converse et al.89] Converse (T.), Hammond (K.) et Marks (M.). – Learning modification rules from expectation failure. *Workshop on case-based Reasoning, DARPA 89*. pp. 110–114. – Morgan-Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Corvaisier et al.98] Corvaisier (F.), Mille (A.) et Pinon (J.-M.). – Radix 2, assistance à la recherche d'information documentaire sur le web. *IC'98, Ingénierie des Connaissances, Pont-à-Mousson, France*. pp. 153–163. – INRIA-LORIA, Nancy, 13-15 Mai 1998.
- [Coulon et al.90] Coulon (D.), Boisvieux (J.-F.), Bourelly (L.), Bruneau (L.), Chouraqui (E.), David (J.-M.), Lu (C.-R.), Py (M.), Savelli (J.), Seroussi (B.) et Vrain (C.). – Le raisonnement par analogie en intelligence artificielle, formalisation, applications. *Actes des troisièmes journées nationales du PRC-GDR-IA*, pp. 45–88. – Hermès, 1990.
- [Coupey et al.96] Coupey (P.) et Salotti (S.). – Using a description logic with default and exception to formalize the retrieval process of cbr. *International IPMU'96 Congress, Information Processing and Management of Uncertainty*. – Granada, Spain, 1996.
- [Critchley et al.92] Critchley (F.) et Cutsem (B. V.). – Representations of dissimilarities: A survey and some new results. *Distancia 92, Rennes France, 22-26 Juin 1992*, pp. 41–46. – 1992.
- [Diday et al.82] Diday (E.), Lemaire (J.), Pouget (J.) et Testu (F.). – *Eléments d'analyse de données*. – Dunod Editeur, 1982.
- [Doyle et al.96] Doyle (J.) et Dean (T.). – Strategic directions in artificial intelligence. *ACM Computing Surveys*, vol. 28, n° 4, 1996.
- [Dubois et al.97] Dubois (D.), Esteva (F.), Garcia (P.), Godo (L.), López De Mantaras (R.) et Prade (H.). – Fuzzy set-based models in case-based reasoning. *2nd International Conference on Case-Based Reasoning (ICCBR'97)*, éd. par Leake (D.) et Plaza (E.). pp. 599–610. – Providence, Rhode Island, USA, July 1997.
- [Faron et al.97] FARON (C.) et GANASCIA (J.-G.). – Representation of defaults and exceptions in conceptual graphs formalism. *Conceptual Structures: Fulfilling Peirce's Dream. Fifth International Conference on Conceptual Structures, ICCS'97, 3-8 Aug. 1997, Seattle, WA, USA*, éd. par Lukose (D.), Delugach (H.), Keeler (M.), Searle (L.) et Sowa (J.), pp. 153–167. – Springer-Verlag Berlin, Germany, 1997.
- [Fox et al.95] Fox (S.) et Leake (D. B.). – Using introspective reasoning to refine indexing. *Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. pp. 391–397. – Morgan Kaufmann, 1995.
- [Fuchs et al.99] Fuchs (B.), Lieber (J.), Mille (A.) et Napoli (A.). – Vers une théorie unifiée de l'adaptation en raisonnement à partir de cas. *à paraître dans les actes de la plateforme AFIA'99, Palaiseau, Juin 99*, pp. –. – 1999.
- [Fuchs97] Fuchs (B.). – *Raisonnement à partir de cas : Représentation des connaissances et du raisonnement basé sur l'expérience. Application à la supervision industrielle*. – Thèse en informatique, CPE-Lyon et Université Jean Monnet, Saint-Etienne, France, 1997.

- [Gentner89] Gentner (D.). – Finding the needle: Accessing and reasoning from prior cases. *Workshop on case-based Reasoning, DARPA 89*. pp. 137–142. – Morgan-Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Hammond86] Hammond (K.). – Chef: a model of case based planning. *AAAI-86, Morgan Kaufmann*, pp. 267–271. – 1986.
- [Hanks et al.95] Hanks (S.) et Weld (D. S.). – A domain independant algorithm for plan adaptation. *Journal of Artificial Intelligence Research*, n° 2, 1995, pp. 319–360.
- [Hanney et al.95] Hanney (K.), Keane (M.), Smyth (B.) et Cunningham (P.). – Systems, tasks and adaptation knowledge: revealing some revealing dependencies. *First International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'95*, éd. par Veloso (M.) et Aamodt (A.). pp. 461–470. – Sesimbra, Portugal, 1995.
- [Hanney et al.97] Hanney (K.) et Keane (M. T.). – The adaptation knowledge bottleneck: how to ease it by learning from cases. *Second International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'97*, éd. par Leake (D.) et Plaza (E.). pp. 359–370. – Springer-Verlag Berlin, Germany, 1997.
- [Haton et al.91] Haton (J. P.), Bouzid (N.), Charpillet (F.), Haton (M.-C.), Laasri (B.), Laasri (H.), Marquis (P.), Mondot (T.) et Napoli (A.). – *Le raisonnement en intelligence artificielle, Modèles, techniques et architectures pour les systèmes à base de connaissance*. – Interditions Paris, série iia, 1991.
- [Herbeaux et al.98] Herbeaux (O.) et Mille (A.). – Accelere: a case-based design assistant for closed cell rubber industry. *Proceedings of ES98, the Eighteenth Annual International Conference of the British Computer Society, Specialist Group on Expert Systems*, éd. par Milne (R.), Macintosh (A. M.) et Bramer (M.). pp. 69–82. – BCS Conference Series, Springer-Verlag, London, 1998.
- [Hinrichs89] Hinrichs (T. R.). – Strategies for adaptation and recovery in design problem solver. *Workshop on case-based Reasoning, DARPA 89*. pp. 115–118. – Morgan-Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Jaczinsky et al.97] Jaczinsky (M.) et Trousse (B.). – A framework for the management of past experiences with time-extended situations. *Proceedings of the 6th International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'97)*, pp. 32–39. – Las Vegas, Nevada, USA, 1997.
- [Jaczynski et al.97] Jaczynski (M.) et Trousse (B.). – A world wide web browsing advisor reusing past navigations from a group of users. *Proceedings of the third UK Case-Based Reasoning Workshop (UKCBR'3)*. – Manchester, UK, 1997.
- [Janetzko et al.93] Janetzko (D.), Berner (K.), Coulon (C.-H.) et Hovestadt (L.). – Toward a task oriented methodology in knowledge acquisition and system design in CBR, 1993. *First European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR'93*. pp. 360–365. – University of Kaiserslautern, Germany, 1993.
- [Kass89] Kass (A.). – Strategies for adapting explanations. *Workshop on case-based Reasoning, DARPA 89*. pp. 119–123. – Morgan-Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Kettler et al.94] Kettler (B. P.), Handler (J. A.), Anderson (W. A.) et Evett (M. P.). – Massively parallel support for case-based planning. *IEEE Expert*, vol. 2, 1994, pp. 8–14.

- [Kitano et al.92] Kitano (H.) et Yasunaga (M.). – Wafer scale integration for massively parallel memory based reasoning. *AAAI92*, pp. 851–856. – 1992.
- [Kitano et al.93] Kitano (H.) et Higuchi (T.). – *High Performance Memory Based Translation on IXM2 Massively Parallel Associative Memory Processor*. – Rapport technique, Thinking Machines Inc., 1993.
- [Kitano93] Kitano (H.). – Challenges of massive parallelism. Invited paper. *IJCAI93, Chambéry, France*, pp. 813–834. – 1993.
- [Koehler94] Koehler (J.). – An application of terminological logics to case-based reasoning. *Proceedings of the 4th International Conference on Principles of Knowledge and Reasoning*, éd. par Doyle (J.), Sandewall (E.) et Torasso (P.). – Morgan Kaufmann, San Francisco, 1994.
- [Koehler96] Koehler (J.). – Planning from second principles. *Artificial Intelligence*, n° 87, 1996, pp. 145–186.
- [Kolodner88] Kolodner (J. L.) (édité par). – *Workshop on case-based Reasoning, DARPA 88*. – Clearwater, Florida, Morgan-Kaufmann, San Mateo, 1988.
- [Kolodner93] Kolodner (J.). – *Case Based Reasoning*. – Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [Leake et al.97a] Leake (D. B.), Kinley (A.) et Wilson (D.). – Case-based similarity assessment: Estimating adaptability from experience. *Proceedings of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence*. – AAAI Press, Menlo Park, CA, 1997.
- [Leake et al.97b] Leake (D. B.), Kinley (A.) et Wilson (D.). – Learning to integrate multiple knowledge sources for case-based reasoning. *Proceedings of the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. – Morgan Kaufmann, 1997.
- [Lieber et al.96] Lieber (J.) et Napoli (A.). – Adaptation of synthesis plans in organic chemistry. *Working Notes of the ECAI-96 Workshop on Adaptation in Case-Based Reasoning*, éd. par Voß (A.), Bergmann (R.) et Bartsch-Spörl (B.), pp. 132–136. – Budapest, Hungary, 1996.
- [Lieber97] Lieber (J.). – *Raisonnement à partir de cas et classification hiérarchique. Application à la planification de synthèse en chimie organique*. – Thèse d'université, Université Henri Poincaré Nancy 1, 1997.
- [Maher et al.95] Maher (M. L.), Balachandran (M. B.) et Zhang (D. M.). – *Case-based reasoning in design*. – Lawrence Erlbaum Associates, 1995.
- [Malek96] Malek (M.). – *Un modèle hybride de mémoire pour le raisonnement à partir de cas*. – Grenoble, Thèse d'université, Université Joseph Fourier, 1996.
- [Mignot97] Mignot (H.). – *Sensibilité au contexte lors de l'évaluation de la similarité dans une architecture ouverte pour le raisonnement à partir de cas*. – Thèse en informatique, Université Paris-Sud, Paris 11, Orsay, 1997.
- [Mille et al.97] Mille (A.) et Napoli (A.). – Aspects du raisonnement à partir de cas. *6èmes Journées Nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle*. MENESR and CNRS, pp. 261–287. – Hermès, Paris, 1997.

- [Mille et al.99] Mille (A.), Fuchs (B.) et Chiron (B.). – Raisonnement fondé sur l'expérience : un nouveau paradigme en supervision industrielle. *Revue d'intelligence artificielle*, vol. 13, 1999, pp. 97–128.
- [Mille95] Mille (A.). – Modèle conceptuel du raisonnement basé sur les cas. *4ème Séminaire Français sur le Raisonnement à Partir de Cas, Paris*, éd. par Bichindaritz (I.), pp. 40–52. – Université René Descartes (Paris V), 1995.
- [Mille98] Mille (A.). – *Associer expertise et expérience pour assister les tâches de l'utilisateur*. – Habilitation à diriger des recherches, Université Claude Bernard, Lyon1, 27 Novembre 1998.
- [Napoli et al.96] Napoli (A.), Lieber (J.) et Curien (R.). – A formal analysis of case-based reasoning in an object-based representation context. *Third European Workshop on Case-Based Reasoning, EWCBR'96*, éd. par Faltings (B.) et Smith (I.), pp. 295–308. – Lausanne,, 1996.
- [Petrushin et al.96] Petrushin (V.) et Kolodner (J.). – Put your experience on the web: a tool for creating and browsing in case libraries. *WebNet96 - World Conference of the Web Society. Proceedings, San Francisco, CA, USA*, éd. par Maurer (H.), pp. 566–573. – Assoc. Adv. Comput. Educ Charlottesville, VA, USA, 1996.
- [Prié et al.98] Prié (Y.), Mille (A.) et Pinon (J.-M.). – A user-centered model for content-based description and retrieval of audiovisual sequences. *Amcp'98, First Int. Advanced Multimedia Content Processing Conf.*, pp. 59–65. – Osaka, Japon, Novembre 1998.
- [Prié et al.99a] Prié (Y.), Mille (A.) et Pinon (J.-M.). – A context-based audiovisual representation model for audiovisual information systems. *à paraître dans les actes de Context'99, Trente, Italy*, pp. –. – 1999.
- [Prié et al.99b] Prié (Y.), Mille (A.) et Pinon (J.-M.). – Modèle d'utilisation et modèles de tâches pour l'assistance à l'utilisateur fondée sur l'expérience: le cas d'un système d'information audiovisuelle. *à paraître dans les actes de IC'99, Palaiseau, Juin 99*, pp. –. – 1999.
- [Purvis et al.95] Purvis (L.) et Pu (P.). – Adaptation Using Constraint Satisfaction Techniques. *Case-Based Reasoning Research And Development. PROceedings Of The FIrst INternational CONference On CAse-Based REasoning - Iccbr-95*, éd. par Veloso (M.) et Aamodt (A.), pp. 289–300. – Sesimbra, Portugal, 23–26 Octobre 1995.
- [Py94] Py (M.). – Un modèle conceptuel de raisonnement par analogie. *Revue D'intelligence Artificielle*, vol. 8, n° 1, 1994, pp. 63–99.
- [Richter et al.93] Richter (M. M.), Wess (S.), Althoff (K.-D.) et Maurer (F.) (édité par). – *First European Workshop on Case-based Reasoning*. – University of Kayserslautern, Germany, Lecture Notes in Artificial Intelligence, volume 837, Springer Verlag, Berlin, 1993.
- [Richter95a] Richter (M. M.). – Knowledge contained in similarity measures, invited paper. *First International Conference On Case-Based Reasoning, Iccbr'95*, éd. par Veloso (M.) et Aamodt (A.). – Sesimbra, Octobre 1995.

- [Richter95b] Richter (M. M.). – On the notion of similarity in case-based reasoning. *Proceedings Of Rhe Issek 94 Conference On Mathematical And Statistical Methods In Artificial Intelligence*, éd. par Della Riccia, pp. 171–184. – Wien, Austria, 1995.
- [Rifqi96] Rifqi (M.). – *Mesures De Comparaison, Typicalité Et Classifications D'objets Flous: Théorie Et Pratique*. – Thèse en informatique, Université Pierre Et Marie Curie, Paris 6, 1996.
- [Rougegrez loriëtte94] Rougegrez-Loriëtte (S.). – *Prédiction De Processus à Partir De Cas Observés: Le Système Rebecas*. – Thèse en informatique, Université De Paris Vi, France, 1994.
- [Rudolph97] Rudolph (S.). – On the foundations and applications of similarity theory to case-based reasoning. *Proceedings Of The 12th International Conference For Applications Of Artificial Intelligence In Engineering Aieng'97*, éd. par Adey (R.) et Rzevski (G.). – Capri, Italy, July 1997.
- [Salotti et al.97] Salotti (S.) et Ventos (V.). – Etude et formalisation d'un système de raisonnement à partir de cas dans une logique de description. *Journées INgénierie Des COnnaissances Et APprentissage AUtomatique - Jicaa'97*, pp. 629–642. – ROscoff, France, 20-22 Mai 1997.
- [Schank et al.89] Schank (R. C.) et Riesbeck (C. K.). – *Inside Case Based Reasoning*. – Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, Usa, 1989.
- [Schank82] Schank (R. C.). – *Dynamic Memory: A Theory Of Reminding And Learning In Computers And People*. – Cambridge University Press, 1982.
- [Schank96] SCHANK (R. C.). – A goal-based scenario for high school students. *CACM*, n° 4, 1996, pp. 28–29.
- [Sebag et al.93] Sebag (M.) et Shoenauer (M.). – A rule based similarity measure. *First European Workshop On Case-Based Reasoning, Ewabr'93*, pp. 65–70. – University Of Kayserslautern, Germany, 1993.
- [Shimazu et al.93] Shimazu (H.), Kitano (H.) et Shibata (A.). – Retrieving cases from relational data-bases: Another stride towards corporate wide case-base systems. *13th International Joint Conference On Artificial Intelligence, Chambéry, France 28-08/03-09 1993*, pp. 909–914. – 1993.
- [Slade91] Slade (S.). – Case based reasoning: A research paradigm. *Ai Magazine, Spring 1991*, 1991, pp. 42–55.
- [Smith et al.95] Smith (I.), Lottaz (C.) et Faltings (B.). – Spatial composition using case: Idiom. *Case-Based Reasoning Reasearch And Development, Icbr'95*, éd. par Veloso (M.) et Aamodt (A.), pp. 88–97. – Sesimbra (Portugal), Octobre 1995.
- [Smyth et al.93] Smyth (B.) et Cunningham (P.). – Complexity of adaptation in real world case-based reasoning systems. *The Sixth Irish Conference On Artificial Intelligence And Cognitive Science*, pp. 228–240. – 1993.

- [Smyth et al.95] Smyth (B.) et Keane (M. T.). – Remembering to forget. a competence-preserving case deletion policy for case-based reasoning systems. *Ijcai-95. Proceedings Of The Fourteenth International Joint Conference On Artificial Intelligence*, éd. par Mellish (C.). pp. 377–382. – Morgan Kaufmann Publishers San Mateo, Ca, Usa, 1995.
- [Stanfill et al.86] Stanfill (C.) et Waltz (D.). – Toward memory based reasoning. *Communications Of The Acm, Vol 29, No 12*, 1986, pp. 1213–1228.
- [Stroulia et al.98] Stroulia (E.) et Goel (A.). – Evaluation of a Psm specification language in adaptive design: The autognotic experiments. *Proceedings Of The 11th Workshop On Knowledge Acquisition, Modelling And Management*, éd. par [Http://Cpsc.Ucalgary.Ca/Kaw/Kaw98](http://Cpsc.Ucalgary.Ca/Kaw/Kaw98). – 1998.
- [Thompson97] Thompson (V.). – Corporate memories. *Byte, International Edition*, vol. 32is, September 1997, pp. 7–12.
- [Turner89] Turner (R. M.). – Case-based and schema-based reasoning for problem solving. *Workshop on case-based Reasoning, DARPA 89*. pp. 341–344. – Morgan-Kaufmann, San Mateo, 1989.
- [Tversky77] Tversky (A.). – Features of similarity. *Psychological Review 84(4)*, 1977, pp. 327–352.
- [Velooso et al.95] Velooso (M.) et Aamodt (A.) (édité par). – *First International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'95*. – Sesimbra, Portugal, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1995.
- [Velooso97] Velooso (M.). – Merge strategies for multiple case plan replay. *Second International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'97*, éd. par Leake (D.) et Plaza (E.). pp. 413–424. – Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1997.
- [Visser94] Visser (W.). – Organisation of design activities : opportunistic, with hierarchical episodes. *Interacting with Computers*, vol. 6, n° 3, 1994, pp. 239–274.
- [Voss et al.96] Voß (A.), Bergmann (R.) et Bartsch-Spörl (B.) (édité par). – *Workshop on Adaptation in Case-Based Reasoning*. – ECAI'96, Budapest, Hungary, John Wiley & Sons Ltd, 1996.
- [Voss96a] Voß (A.). – Structural Adaptation with TOPO. *Workshop on Adaptation in Case-Based Reasoning, ECAI-96*, éd. par Voß (A.), Bergmann (R.) et Bartsch-Spörl (B.). – Budapest, Hungary, August 1996.
- [Voss96b] Voß (A.). – How to solve complex problems with cases. *Engineering applications of artificial intelligence*, vol. 9, n° 4, 1996, pp. 377–384.
- [Watson97] Watson (I.). – *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems*. – Morgan Kaufmann Publishers, 1997.
- [Wilke et al.98] Wilke (W.) et Bergmann (R.). – Techniques and knowledge used for adaptation during case-based problem solving. *à paraître dans les actes de IEA'98*, éd. par ?? p. ?? – ??, 1998.
- [Yager96] Yager (R.). – *Fuzzy logic foundations and industrial applications*, chap. A unified view of case-based reasoning and fuzzy modeling, pp. 5–26. – Kluwer Academic Press, Norwell, MA, USA, 1996.

- [Yager97] Yager (R.). – Case based reasoning, fuzzy systems modeling and solution composition. *Case-Based Reasoning Research and Development. Second International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR-97, Providence, RI, USA, 25-27 July 1997*, éd. par Leake (D.) et Plaza (E.). pp. 633–642. – Springer-Verlag Berlin, Germany, 1997.