

RECHERCHES SUR LA REPRESENTATION DES CONNAISSANCES
LE SYSTEME ARCHES

Eugène Chouraqui

Centre National de la Recherche Scientifique
Laboratoire d'Informatique pour les Sciences de l'Homme
13277 Marseille Cedex 9
FRANCE

Ce papier présente la description formelle d'un système symbolique de représentation de connaissances, le système ARCHES. Comme tout système formel, il est formé de deux composantes interdépendantes. La première est relative aux modalités de représentation des connaissances qui sont déterminées par le langage objet de ARCHES et l'organisation algébrique de ses éléments. La deuxième est relative à son activité inférentielle qui permet de mettre en oeuvre deux types de raisonnement : le raisonnement déductif pour lequel un principe de résolution a été défini ; et le raisonnement analogique fondé sur un modèle analogique particulier qui rend consistant le système ARCHES.

INTRODUCTION

ARCHES est un système symbolique particulier de représentation et de traitement de connaissances dont la conception procède non seulement de l'analyse de travaux conduits en intelligence artificielle sur la représentation informatique des connaissances et des raisonnements (réseaux sémantiques, frames, systèmes experts, logique du premier ordre, etc. [5] et [6]), mais aussi de l'examen de plusieurs études de cas relatives à des domaines de connaissances réels, comme par exemple les sciences de l'homme, [1]. En d'autres termes, ARCHES est conçu comme un *meta-système* qui peut être utilisé pour générer des *systèmes d'information intelligents* dans différents domaines du discours scientifique. Plus précisément, il permet de *représenter* tout ensemble de faits réels (objets de la culture matérielle, assertions factuelles, événements, etc.) exprimant des *états* ou des *changements d'état* dont les définitions sont déterminées à partir d'un groupe précis d'hypothèses fondées sur la linguistique, la logique et la nature des univers de connaissances étudiées. Son objectif est *d'obtenir de nouvelles connaissances* dont la production est déterminée par des modes de raisonnement fondés sur des mécanismes de déduction comparables à ceux utilisés dans les sciences expérimentales, c'est-à-dire proches de la réalité observée - on part de suppositions ou d'hypothèses pour en tirer ensuite les conséquences que l'on rend indépendantes des hypothèses de départ par des règles appropriées -, et dont la formalisation et la manipulation restent pour des raisons opératoires dans les limites de la logique du premier ordre - ce qui permet en particulier l'utilisation d'outils existants, comme PROLOG par exemple. En l'absence de toute théorie dans ce secteur d'activité, nous pensons que les hypothèses qui fondent la conception de ARCHES ont été définies de manière systématique (nature des domaines de connaissances étudiés et leur rapport avec le langage naturel, types de domaines symboliques visés et leur rapport avec la logique, relations entre domaines réels et domaines symboliques, etc.), et forment ainsi un cadre de référence et d'analyse cohérent et précis, pouvant être utilisé également comme une *aide* à la représentation et la constitution des bases de connaissances associées à ARCHES.

Partant de ces hypothèses, nous avons conçu un système formel spécialisé qui *distingue très nettement deux niveaux de représentation étroitement solidaires* : la représentation des connaissances et la représentation des raisonnements ; et avons étudié les propriétés logiques du système formel ainsi construit, [3].

REPRESENTATION DES CONNAISSANCES DANS LE SYSTEME ARCHES

La représentation des faits est déterminée par la composition d'entités construites à partir de la notion générale de *concepts*. Les concepts, qui sont des ensembles, permettent de classifier les faits étudiés en différentes catégories d'objets appelés *individus*. Chaque individu peut être caractérisé par une *description* à l'aide du *lien ADP (attribution de description principale)* ; et chaque fait est représenté par une formule de la logique du premier ordre, appelée *structure*, donnant une description d'un individu. L'ensemble \mathcal{F} des structures détermine le *langage des formules* du système symbolique ARCHES. Ses *thèses* - i.e. les structures toujours vraies quel que soit les *interprétations* de ARCHES - forment un sous-ensemble particulier \mathcal{F}_T inclus dans \mathcal{F} ; elles définissent la *base de connaissances* de ce système et décrivent en *extension* l'ensemble des individus étudiés.

Les *liens SET et INS* permettent de structurer les ensembles de concepts et d'individus. En particulier la relation SET, qui définit sur l'ensemble des concepts un ensemble de graphes disjoints - *les graphes de résolution* -, permet d'organiser les faits en *champs* et en *domaines*. Un champ contient les thèses qui décrivent les individus appartenant à un même concept ; et un domaine est formé de l'ensemble des champs associés aux concepts qui appartiennent à un même graphe de résolution. Ce découpage en champs et en domaines des faits enregistrés a pour conséquence d'introduire une grande *modularité* dans l'analyse des connaissances investiguées et une grande *souplesse* dans les modalités de leur représentation, de leur mise à jour et de leur évolution.

Une description est formée d'*éléments de description ou termes descriptifs* reliés par des *connecteurs* qui sont définis par des règles comparables à celles mises en œuvre par les techniques de déduction naturelle : ce sont le *ET d'addition* (*), le *OU non exclusif* (+), la *négation* (\neg), le "*futur immédiat*" (F) marquant les rapports d'évolution entre mondes de description consécutifs, et enfin le "*futur médiate*" (G) marquant les rapports d'évolution entre mondes de description successifs, c'est-à-dire non nécessairement consécutifs. Par ailleurs les connecteurs *, \neg et F permettent de définir le *ET de succession* (°) qui a une des *valeurs de la conjonction PUIS du langage naturel*. Il permet en particulier d'exprimer et de véhiculer les changements d'état. Les termes descriptifs permettent de représenter les propriétés et d'une manière plus générale les relations d'état qui caractérisent les individus, [2]. Ils sont construits à partir de quatre entités basiques : les *traits* qui permettent de représenter les caractères distinctifs des individus (qualités, valeurs de propriétés, etc.) ; les *classes* qui regroupent les traits de même nature sémantique et expriment ainsi la portée sémantique des relations d'état ; les *opérateurs* - symboles fonctionnels en général n-aires - qui expriment les rapports entre classes et traits, et précisent ainsi la nature sémantique des relations d'état ; et enfin le *lien ADL (attribution de description locale)* qui permet de décrire localement les propriétés et les relations d'état (structure récursive des termes descriptifs).

La structure algébrique de l'ensemble Δ des descriptions, qui détermine des *modalités spécifiques de dérivation des descriptions*, fonde l'activité inférentielle du système symbolique ARCHES, [4].

Elle est définie d'une part à partir des propriétés logiques des termes descriptifs, et d'autre part à partir des règles de formation des descriptions au moyen des connecteurs et des termes descriptifs. La représentation et les propriétés logiques des termes descriptifs permettent de définir sur ces derniers quatre groupes de règles de réécriture de type substitution-réduction: les *règles de décomposition*, les *règles d'héritage*, les *règles de transitivité*, et enfin les *règles d'extension*. Ces règles expriment les propriétés sémantiques des classes et les relations qu'elles entretiennent. La relation de réécriture \longrightarrow , définie sur l'ensemble des termes descriptifs à partir des règles de substitution-réduction, détermine les modalités de dérivation des termes descriptifs. De la même manière, on définit sur l'ensemble Δ la relation de déduction \Longrightarrow qui fixe les modalités de dérivation des descriptions : \Longrightarrow est la plus petite relation réflexive et transitive qui

vérifie un ensemble de conditions formelles permettant d'établir les propriétés logiques des connecteurs ainsi que les schémas de dérivation des descriptions (règles d'insertion et d'élimination des connecteurs, rapports entre les relations \longrightarrow^* et \implies , règles d'interprétation de la négation, etc.). Dans le cadre de l'étude des propriétés formelles de l'ensemble Δ , nous avons démontré que les résultats des opérations de dérivation des termes descriptifs sont indépendants de l'ordre d'application des règles de réécriture. Ceci nous a permis de construire un *algorithme original de décidabilité pour la relation \longrightarrow^** . Cet algorithme est fondé d'une part sur une *procédure de recherche du terme descriptif irréductible* de tout terme descriptif, et d'autre part sur une *fonction de discordance* de tout couple de termes descriptifs. Par ailleurs nous avons justifié formellement les schémas de dérivation des descriptions et montré que l'ensemble Δ , muni des trois connecteurs \ast , $+$ et \neg , est un *treillis distributif complété*. Notons que l'intérêt essentiel de la négation réside dans son *interprétation* fondée sur le principe du "système de description clos" : Tout élément de description caractérisant un individu quelconque ne peut pas être défini par la disjonction de tous les termes descriptifs construits sur la même classe. Et nous avons prouvé que l'ensemble Δ , muni de cette interprétation ainsi que de la *caractérisation sémantique de l'évolution des descriptions* (connecteurs F, G et \circ), est *consistant*. Enfin nous avons élaboré une *procédure de décision* permettant de résoudre le problème suivant : *Etant donné un couple de descriptions (H,C), déterminer s'il vérifie la formule $H \implies C$* . Ce problème est évidemment essentiel pour la démonstration des théorèmes du système ARCHES (voir paragraphe suivant). La définition de cette procédure, qui s'appuie sur les propriétés formelles de la relation \implies , utilise la méthodologie de résolution de problèmes par décomposition, et construction de graphes ET/OU correspondants. Plus précisément, cette procédure construit deux arbres ET/OU \mathcal{A}_H et \mathcal{A}_C associés respectivement à l'hypothèse H et à la conclusion C, les modalités de construction étant déterminées à partir des schémas de dérivation des descriptions et de leurs propriétés. Elle construit ensuite l'arbre ET/OU \mathcal{A}_R en "accrochant" à chaque terminal de \mathcal{A}_H l'arbre \mathcal{A}_C sans sa racine ; et tente de valider la formule $H \implies C$ en cherchant à valider au moins un sous-arbre ET de \mathcal{A}_R en utilisant en particulier l'algorithme de décidabilité de la relation \longrightarrow^* .

REPRESENTATION DES RAISONNEMENTS DANS LE SYSTEME ARCHES

L'activité inférentielle du système ARCHES est mise en oeuvre à partir de la relation d'inférence \vdash définie sur le langage des formules \mathcal{F} . Cette relation d'inférence permet de représenter les formes élémentaires de raisonnement au moyen de règles d'inférence particulières : /1/ les *règles d'inférence structurales*, qui dépendent de l'architecture générale de ARCHES, mettent en oeuvre les raisonnements déductifs (règles intra-champ et inter-champs fondées sur les propriétés de la relation de déduction \implies et du prédicat SET), et analogique (règle d'inférence analogique définie à partir d'une mesure de ressemblance entre descriptions fondée sur une opération particulière d'unification et activée par un graphe de dépendance) ; /2/ les *règles d'inférence pragmatiques*, qui dépendent des applications considérées, permettent de décrire en *intention* les individus en définissant les lois générales qui les organisent. Ces règles permettent de démontrer les *théorèmes* de ARCHES à partir de l'ensemble \mathcal{F}_T des thèses. Plus précisément, ARCHES se présente comme un *système d'expression et de résolution de problèmes*. Chaque problème - i.e. un théorème à démontrer - est décomposé en une conjonction de sous-problèmes dont la résolution est réalisée par les *démonstrateurs déductif et analogique* que nous avons construits à partir des règles d'inférence, et validés en formalisant le processus de démonstration à partir d'une représentation par des clauses de Horn non seulement des éléments spécifiques qui interviennent dans le déroulement des démonstrations, mais aussi des différentes composantes du système symbolique ARCHES (les clauses de Horn représentent donc le *métalangage* de manipulation de ARCHES).

Cette représentation en logique du premier ordre a permis de définir pour le raisonnement déductif une *règle de résolution spécifique* équivalente à la règle d'inférence intra-champ. Cette règle utilise des *modalités particulières d'unification des descriptions* - la \implies -unification (lire flèche-unification) - pour laquelle

nous définissons et prouvons un algorithme qui détermine l'ensemble des unificateurs de deux descriptions. Et nous avons démontré sa *complétude* à partir de la définition d'*arbres sémantiques* pour le système ARCHES. Par ailleurs l'application itérée de la règle d'inférence inter-champs détermine des *modalités spécifiques d'exploration des graphes de résolution* pour lesquelles nous établissons quelques propriétés et définissons un algorithme de cheminement. Ceci nous a permis de construire et de valider formellement le *démonstrateur* correspondant à ce mode de raisonnement, démonstrateur qui est défini naturellement à partir de la règle de résolution et des modalités d'exploration des graphes de résolution.

Enfin le raisonnement analogique est déterminé à partir d'un paradigme analogique particulier exprimant la ressemblance de rapports entre descriptions dont la formulation la plus générale est : "La description A est à la description B ce que la description C est à la description D". Ce paradigme, précisé par un ensemble d'hypothèses évaluant le degré de vraisemblance des résultats obtenus par ce mode de raisonnement, a permis d'intégrer dans le système ARCHES un *modèle analogique défini comme une application particulière* qui fait correspondre les éléments (i.e. les opérateurs, les classes et les traits) qui composent A (respectivement B) à ceux de C (respectivement D). Cette application n'est définie que si les relations d'état (i.e. les doublets (classe, opérateur)) qui composent les descriptions B et D sont identiques, et que les descriptions A et C ont au moins en commun une relation d'état. Par ailleurs elle respecte la sémantique des traits, i.e. deux traits se correspondent si et seulement si ils appartiennent à la même classe. Si cette application est telle qu'elle représente localement la *fonction d'identité* pour certains des traits qui composent les descriptions A et B alors on affirme que "A est à B ce que C est à D". En d'autres termes le modèle permet d'exprimer une certaine ressemblance de rapports entre les couples (A,B) et (C,D). Cette ressemblance est évaluée par la fonction d'identité, qui peut être exprimée de manière équivalente à l'aide de la notion de filtre (ou de matching) bien connue en intelligence artificielle : nous l'avons exprimé dans ARCHES à l'aide de la relation de déduction \Rightarrow , de la \Rightarrow -unification et enfin de prédicats particuliers précisant la nature du filtrage. Ceci a permis de définir une *règle d'inférence analogique* dont les prémisses ont pour objet essentiel d'une part d'évaluer la *ressemblance comme une relation de dérivation*, et d'autre part de *ne pas rendre inconsistant le système ARCHES*. L'application effective de cette règle dépend alors de l'existence de relations de dépendance entre les éléments des couples (A,B) et (C,D). Ces relations déterminent pour chaque interprétation du système symbolique ARCHES un *graphe de dépendance* qui conditionne l'utilisation de la règle d'inférence analogique. Ces modalités d'utilisation de la règle d'inférence analogique contribuent à produire des *solutions satisfiables*, i.e. des solutions qui sont vraies pour au moins une interprétation (celle qui a donné naissance au graphe de dépendance). Enfin nous avons construit et validé formellement le *démonstrateur* qui met en oeuvre le raisonnement analogique, démonstrateur qui est défini à partir de la règle d'inférence analogique et de ses modalités d'utilisation à l'aide des graphes de dépendance.

CONCLUSION

Le système symbolique ARCHES apparaît comme une contribution méthodologique et théorique à la problématique de la représentation et du traitement des connaissances. L'originalité de sa conception est multiple. En premier lieu, des notions nouvelles ont été introduites qui permettent de clarifier les rapports entre caractérisés et caractérisations (comme par exemple les notions de classes et d'opérateurs, les liens ADP et ADL, la représentation de l'interprétation de la négation, ou enfin la représentation de l'évolution des descriptions). Par ailleurs ARCHES est, à notre connaissance, le premier système qui combine à la fois les avantages des réseaux sémantiques et des systèmes de production. Enfin notre système a été construit en s'appuyant sur la logique, ce qui a permis d'établir ses principales propriétés formelles (axiomatisation des éléments de représentation, cohérence, complétude, etc.). Cependant ARCHES reste étroitement lié à des domaines de connaissances empiriques, dans la mesure où les éléments qui déterminent sa conception ont été déterminés à partir de l'examen de plusieurs études de cas relevant notamment

des sciences de l'homme. Son utilisation dans ce secteur d'activité est potentiellement très importante (sciences juridiques, linguistique, histoire, etc.).

REFERENCES

- [1] BORILLO, M. (ed.), Représentation des connaissances et raisonnement dans les sciences de l'homme. Colloque de Saint-Maximin (IRIA/LISH, septembre 1979).
- [2] CHOURAQUI, E., Construction of data structures for representing real world knowledge, in : SAMET, P.A. (ed.), Actes du colloque EURO-IFIP 79 (North-Holland, Amsterdam, 1979).
- [3] CHOURAQUI, E., Contribution à l'étude théorique de la représentation des connaissances, le système symbolique ARCHES, Thèse d'état, I.N.P.L., Nancy (octobre 1981).
- [4] CHOURAQUI, E., ARCHES un système symbolique de représentation et de traitement de connaissances, in : Actes du congrès AFCET Informatique (AFCET, Paris/Gif-sur-Yvette, 1981).
- [5] FINDLER, N. (ed.), Associative Networks, representation and use of knowledge by computers (Academic Press, N.Y., 1979).
- [6] GALLAIRE, H. and MINKER, J. (eds.), Logic and data bases (Plenum Press, N.Y., 1978).

