

Building the knowledge base, with the aid of an expert, demonstrates that the rules are not absolute and uncertainty prevails. Correctness of answer depends on circumstances and existing encoded knowledge - ie, in code of practice - is superficial compared with expert experience applied to a particular situation, eg, code only states maximum distance between movement joints. Detail design by computer would appear to be best, a verifier - rather than generator - of proposed solutions required in the scheme design.

#### CONCLUSIONS

The three major issues that are being addressed in this research are therefore:

1. In modern building technology how can the various scattered sources of knowledge of component assembly be integrated and formally represented for scheme proposal analysis?
2. In computer aided design how can non-geometric data for design be integrated with graphics having regard to the usefulness of 2-d or 3-d representation.
3. In knowledge engineering what are the features required in AI programming languages intended for use in CAD of buildings and how best can communication be achieved between textual design rules and graphical representation of the results of applying these rules.

#### References

1. J Gero, An Overview of Knowledge Engineering and its Relevance to CAAD, CAAD Futures, Delft, (1985).
2. E Shaviv, Layout Design Problems and their Systematic Approach, CAAD Futures, Delft (1985).
3. C Gray & J Little, A Systematic Approach to the Selection of an Appropriate Crane for a Construction Site, Construction Management & Economics 3 pp 121-144 (1985).
4. W Atkins, Latent Defects in Buildings: An Analysis of Insurance Possibilities, A Report for Building EDC (1985).
5. T Cornick, The Design Process, An Architect's View, ESCAD '85 Workshop, University of Reading (1985).
6. B Martin, Chapter 6, Building, Standards and Building (RIBA Publications Ltd, 1971).
7. R Allwood, Report on Expert System Shells Evaluation for Construction Industry Applications, University of Loughborough (1985).
8. B L Atkin, T Cornick and E M Gill, CAD on a Micro: How Far Can we go? Construction Industry Computer Conference, CICA UK (1986).
9. Code for Structural Use of Masonry, Part 1, BS 5628 (British Standards Institute, 1985).
10. B Hall, Brickwork Design Magazine 2 (Ibstock Building Products, April 1985).
11. G Broadbent, An Environmental Design Process, Design in Architecture (John Wiley and Sons, 1978).
12. T Cornick & J Bowen, A Computer-Based System for the Selection and Production Control of Brickwork (SERC and Ibstock Building Products, '85)
13. J Bowen, A Multi Formalism Programming Environment for Knowledge Engineering and Expert Systems, Reading (1986).

Expert Systems prototypes applied to the Building field

Bertrand Delcambre et Delphine Halleux

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.)  
Etablissement de Sophia Antipolis  
Boîte Postale 21  
06562 VALBONNE CEDEX, FRANCE

#### KEY WORDS :

C.A.D., Expert Systems, Prototypes

#### Summary :

New information processing techniques gathered by the name of Artificial Intelligence will probably come to maturity in the years 1985 to 1990. They will contribute to extend the Computer-Aided Design concept exclusively restricted today to an algorithmical approach. In particular, Expert Systems are relevant to a more efficient reasoning by computers than men on a bulk of statement knowledge. Their interest is also due to their structure and using mode. So, it is logical to think that the building field will be favourable for Expert Systems for numerous applications : aided choice, agreement with rules, elaboration of solutions, diagnosis, plan management ... At this time, some attempts have been successfully performed by French teams or architects, engineers and computer scientists. For his part, C.S.T.B. has started the development of prototypes for aided choice applications ; choice of technical solutions in accordance with technical and economical constraints and/or regulations. This first attempt has been conducted with the aim of testing the Expert System approach relevance in the building field, and estimating the performance to be expected with these new tools from the hardware and software points of view.

Elaboration de maquettes de Systèmes Experts  
appliqués au domaine du Bâtiment

Bertrand Delcambre et Delphine Halleux

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.)  
Etablissement de Sophia Antipolis  
Boîte Postale 21  
06562 VALBONNE CEDEX, FRANCE

MOTS CLES :

C.A.O. - Maquettes - Systèmes Experts

Sommaire :

L'avènement à maturité de nouvelles techniques de traitement de l'information rassemblées sous le vocable Intelligence Artificielle sera probablement l'apanage des années 1985 à 1990 et contribuera à l'élargissement du concept de C.A.O. réservé aujourd'hui exclusivement à l'utilisation de méthodes algorithmiques. En particulier, les Systèmes Experts correspondent à l'ambition de faire raisonner l'ordinateur mieux que l'homme sur de gros volumes de connaissances déclaratives. Leur intérêt, également lié à leur structure et à leur mode d'utilisation, fait qu'il est légitime de penser que le monde du Bâtiment sera un terrain de prédilection des Systèmes Experts dans de nombreux domaines : aide à la décision, vérification de règles, élaboration de solutions, diagnostics, gestion de projets ... D'ores et déjà, quelques tentatives ont été menées à bien par des équipes françaises d'architectes, d'ingénieurs et d'informaticiens. De son côté, le C.S.T.B. a entamé la réalisation de maquettes dans le domaine de l'aide à la décision : choix de solutions techniques au regard de contraintes technico-économiques et/ou réglementaires. L'objectif poursuivi dans ces premiers efforts est, non seulement d'évaluer la pertinence de l'approche Système Expert pour des problèmes d'ingénierie Bâtiment, mais aussi de cerner la réalité des performances à attendre de ces nouveaux outils du double point de vue du logiciel et du matériel.

Introduction

Les caractéristiques générales des Systèmes Experts laissent à penser que le Bâtiment pourrait, dans un avenir assez proche, en devenir un des domaines de prédilection.

Que ce soit pour de la conception ou de la réalisation de projets neufs ou pour du diagnostic ou de la gestion de projets existants, le Bâtiment fait référence en pratique à une masse considérable de connaissances. Du fait, non seulement de leur volume, mais aussi en raison de leur dispersion, ces connaissances sont rarement maîtrisées convenablement par les personnes concernées.

Beaucoup de ces connaissances sont déclaratives et se prêtent mal aux traitements algorithmiques ; peu d'outils relevant d'une approche informatique classique sont aujourd'hui proposés pour l'aide à l'utilisation de ce type de connaissances. C'est là, sans doute, que se situe la cible privilégiée des Systèmes Experts dans le domaine du Bâtiment.

Face à cette perspective, le C.S.T.B., au sein de la Division "Productique et Construction", basée à Sophia Antipolis, a démarré, en 1985, une activité d'étude des techniques des Systèmes Experts afin d'évaluer :

- l'intérêt de l'approche Système Expert pour des problèmes spécifiques relatifs à l'ingénierie du Bâtiment ;
- les difficultés d'élaboration des produits ;
- les environnements informatiques nécessaires.

La démarche retenue a consisté à expérimenter quelques langages et outils spécialisés, sur des problèmes d'ingénierie du Bâtiment.

Afin de pouvoir consacrer l'essentiel des efforts à l'analyse des techniques spécifiques de construction des Systèmes Experts, nous nous sommes limités délibérément à des premiers problèmes posant un minimum de difficultés quant à la disponibilité et la formalisation des connaissances.

Les résultats obtenus, sous la forme de maquettes, illustrent tout à fait l'intérêt de l'approche Système Expert, en démontrant la faisabilité et permettent d'envisager la continuation des travaux sur des domaines d'expertise plus complexes.

Les outils

Grâce à une collaboration avec l'Institut National de Recherche en Informatique et Automatique (I.N.R.I.A.), nous avons eu la possibilité de tester sur un VAX 750 des outils de développement de Systèmes Experts, écrits en LE LISP (1) :

CRICQUET (2) : Un Moteur d'Inférences paramétrable permettant entre autres le choix du type de raisonnement : chaînage avant, arrière ou mixte. Un module d'interface permet l'expression des connaissances en langage quasi-naturel. Les termes manipulés sont des quadruplets de la forme (objet prédicat attribut valeur). Les connaissances sont représentées par des Règles de Production.

CEYX (3) : Un Langage Orienté Objet conçu pour la représentation de connaissances sous forme de hiérarchies de classes et sous-classes. L'héritage des propriétés est automatique du niveau supérieur vers les niveaux inférieurs. L'introduction des connaissances s'effectue grâce à la manipulation de macro-fonctions écrites en LE LISP.

SMECI (4) : Un environnement logiciel pour la création de Systèmes Multi-Experts de Conception en Ingénierie, basé sur une structure d'objets s'apparentant à celle de CEYX mais complétée par la notion de prototypes, c'est-à-dire d'objets de référence. Le Moteur d'Inférences fonctionne sur des règles de production permettant la manipulation d'objets. Des éditeurs sont proposés pour faciliter l'introduction des connaissances (objets et règles).

#### Les développements propres

Quand on utilise un logiciel expert développé pour une catégorie de domaines mais indépendamment d'un domaine particulier (tel que CRIQUET), on doit adapter les connaissances des experts à la représentation reconnue par le système : un important travail de modélisation des connaissances est à effectuer en liaison avec les experts du domaine.

Devant les difficultés et les limites de cette démarche, nous nous sommes proposés de tester l'approche opposée : au lieu de modéliser les connaissances en fonction d'une représentation prédéfinie, nous avons élaboré un logiciel (choix d'une représentation des connaissances et d'un raisonnement) sur mesure pour notre domaine d'application. Nous avons étudié le domaine d'expertise en dehors de toutes contraintes informatiques afin d'en faire ressortir la logique interne. Puis, nous avons modélisé la connaissance dans une représentation aussi naturelle que possible pour l'expert. Enfin, nous avons développé les modules de traitement logique des connaissances (Moteur d'Inférences) et les interfaces adaptées aux problèmes et aux objectifs des utilisateurs potentiels.

C'est ainsi que nous avons élaboré au C.S.T.B. deux maquettes logiciels de type Système Expert. Elles nous ont permis de mieux évaluer les possibilités des langages et des techniques les plus répandues en Intelligence Artificielle actuellement. Dans un souci de comparaison, nous avons écrit un système en PROLOG II (5) et l'autre en LE LISP.

Le domaine d'application qui a servi de base à la conception des logiciels s'intitule "Les exemples de solutions thermiques pour maisons individuelles". Il s'agit d'un problème de diagnostic comportant de nombreuses valeurs numériques et dont la solution doit être conforme à des dispositions réglementaires.

Les systèmes programmés au C.S.T.B. ont atteint un niveau suffisant de généralité pour pouvoir travailler sur des domaines aux caractéristiques légèrement différentes de celles du domaine d'origine.

L'étude logicielle des Systèmes Experts nous a permis :

- d'acquérir une maîtrise des principales techniques utilisées couramment en Intelligence Artificielle (chaînage avant, arrière, cohérence, compilation, langages orientés objets, règles de production, frames, ...)
- d'imaginer de quoi pourrait être composé le Cahier des Charges d'un Système Expert appliqué à un domaine du Bâtiment.

- de comparer les performances et facilités d'emploi de LISP et PROLOG, qui s'avèrent équivalentes dans les limites de nos applications.
- Parallèlement au développement du Moteur d'Inférences, la réalisation d'un ensemble d'interfaces a été entreprise :
- des menus présentent l'ensemble des possibilités offertes à l'utilisateur : expertises et utilitaires ;
  - une explication de raisonnement est disponible en cours et/ou à la fin de chaque expertise ;
  - la gestion de la cohérence de la Base de Faits est assurée, après chaque modification de Fait ;
  - des commentaires, à plusieurs niveaux, sont proposés pour faciliter la compréhension des notions soumises par le système à l'utilisateur.

Une interface en langage quasi-naturel permet l'introduction de règles traduites automatiquement en leur représentation interne.

L'ensemble de ces développements, effectués sur VAX 750, a été porté sans problèmes majeurs sur IBM PC.

#### Les applications

Le premier choix qui nous incombait fut de décider de la taille et de la complexité du domaine d'application dans le but de réaliser une maquette relativement rapidement démonstrative des possibilités offertes par les Systèmes Experts. Pour cela, nous devions tenir compte des problèmes liés au transfert d'expertise de l'expert à la machine via un informaticien : possibilités de rencontre et disponibilité de l'expert et de l'informaticien. Il fallut trouver un domaine dont le savoir est assez bien défini et ne mettant pas en oeuvre des types de connaissances trop diverses.

De façon générale, quand le domaine est choisi, il faut mettre en évidence ses caractéristiques et sa logique. Alors, on détermine une représentation adéquate des connaissances qu'il contient, ou bien on modélise au mieux la démarche de l'expert dans un langage de description prédéfini. Puis, il y a le choix du (ou des) problème(s) à résoudre et, au delà, le choix du raisonnement à appliquer.

Le but est d'aboutir à une maquette qui convienne aussi bien à l'expert qu'à un utilisateur novice, tant au niveau du contenu que de la forme.

Quatre sujets correspondant à des problèmes d'ingénierie du Bâtiment ont été testés grâce aux logiciels présentés précédemment.

Par ordre de complexité croissante :

- Le Choix des Fenêtres en fonction de leur Exposition  
Le D.T.U. 36.1/37.1 (Document Technique Unifié - texte normatif édité par le C.S.T.B.) , se présente sous la forme d'un mémento destiné à guider les maîtres d'oeuvre dans le choix des classes de fenêtres (selon la norme NF P 20-302) à retenir, compte tenu de la situation et principalement de l'exposition au vent.

Les connaissances se présentent sous la forme de quelques définitions et tableaux relatifs à l'exposition et aux classes de perméabilité à l'air,

d'étanchéité à l'eau et de résistance au vent.

- Les exemples de Solutions Thermiques pour les Maisons Individuelles  
Il s'agit d'un document indiquant les isolations thermiques nécessaires pour les différents types de parois (plafond, plancher, murs) des maisons individuelles de façon à aboutir à une solution d'ensemble compatible avec le niveau exigé par la réglementation thermique de mars 1982.

Les connaissances sont dispersées dans plusieurs chapitres d'un unique document : le Cahier 1994 publié par le C.S.T.B. en avril 1985. Chaque chapitre se représente aisément sous la forme d'un arbre où la racine est constituée de la valeur de l'isolation thermique pour la paroi relative au chapitre et où les feuilles sont les informations minimales dont il faut disposer pour faire progresser le choix.

- Le Choix des Revêtements de Façade  
Les connaissances nécessaires pour la résolution de ce problème sont très dispersées : Cahiers du C.S.T.B., directives UEAtc (Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction), D.T.U., Guides techniques, Normes, Avis Techniques. Certaines d'entre elles sont relatives à des notions très codifiées, comme le "Type de Mur", défini dans le D.T.U. 20.11, d'autres font, au contraire, appel à des appréciations plus ou moins qualitatives sur la durabilité des revêtements ou sur leurs difficultés de mise en oeuvre.

Pour cette application, l'élaboration de la maquette de Système Expert s'exécute en parallèle avec les travaux d'un groupe d'experts chargé de rassembler et de formaliser l'ensemble du Savoir sur le domaine.

#### Exemple

Considérons, à partir de la dernière application présentée, ce que réalise la maquette du C.S.T.B. dans son état actuel.

Le système propose les revêtements de façade adaptés à un projet de Bâtiment en dialoguant avec l'utilisateur à propos des différents critères de choix (en majuscules ce que génère le programme, en minuscules ce que répond l'utilisateur) :

:  
:  
LA TEMPERATURE MOYENNE EXTERIEURE SE SITUE-T-ELLE ENTRE 5 et 30 DEGRES ?  
? oui

DE QUEL MATERIEL D'APPLICATION DISPOSEZ-VOUS ?

- 1 : ECHAFAUDAGE
- 2 : LISSEUSE
- 3 : BETONNIERE
- 4 : MACHINE A PROJETER LES MORTIERS
- 5 : POT DE PROJECTION
- ? (1 3)

QUELLE EST LA NATURE DU VENT ?

- 1 : FORT
- 2 : CHAUD ET SEC
- 3 : AUTRE
- ? 1

:  
:

LES REVETEMENTS APPLICABLES SUR VOTRE FACADE SONT :  
ENDUIT EXTERIEUR 3 COUCHES  
REVETEMENT PLASTIQUE EPAIS

Lorsque le Système Expert atteint le but recherché, l'utilisateur peut consulter l'ensemble des informations saisies et déduites ainsi qu'un historique expliquant le cheminement suivi pour aboutir au résultat proposé. Ces explications sont présentées comme suit :

:  
:

La température moyenne se situe entre 5 et 30 degrés : vrai

Le matériel dont vous pouvez disposer est : échafaudage

Le matériel dont vous pouvez disposer est : bétonnière

> la règle 19 est activée

> on en déduit que la mise en oeuvre est possible avec le revêtement : RPE (Revêtement Plastique Epais)

Le vent est fort

:  
:

Un autre utilitaire permet alors de visualiser les règles à partir de leur numéro :

Règle numéro 12 utilisée jusqu'alors 6 fois

Si la productivité désirée est atteinte avec le revêtement : EE2C

et l'architecture est compatible avec le revêtement : EE2C

et délais-exécution  $\geq 7$

et [ la main-d'oeuvre est de qualification III

ou la main-d'oeuvre est de qualification IV ]

et [ le matériel dont vous pouvez disposer est : pot projection

ou le matériel dont vous pouvez disposer est : machine à projeter mortiers ]

et le matériel dont vous pouvez disposer est : échafaudage

et le climat correspond au revêtement : EE2C

Alors la mise en oeuvre est possible avec le revêtement : EE2C

(Enduit Extérieur 2 Couches)

#### Conclusion

Les applications retenues relèvent d'une approche dite de diagnostic et nécessitent un traitement logique en chaînage arrière. Elles supposent la manipulation de chaînes de caractères, de quantificateurs, de valeurs numériques et d'opérateurs logiques.

Les développements des logiciels effectués sont basés sur les notions d'arbre et d'unification. Ils utilisent la récursivité naturelle des langages PROLOG II

et LE LISP pour se déplacer dans les arbres de connaissance suivant le principe du chaînage arrière : la progression du raisonnement est dirigée par le but à atteindre.

Nous disposons aujourd'hui d'un Moteur d'Inférences parfaitement adapté à la classe de problèmes relatifs aux deux premières applications. Des extensions sont en cours en ce qui concerne les Choix des Revêtements de Façade, problème plus complexe pour lequel nous devons pouvoir gérer des listes ordonnées de solutions simples ou composées (combinaisons de revêtements).

#### REFERENCES

1. J. Chailloux, "LE LISP de l'INRIA - Le Manuel de référence, INRIA (décembre 1984)
2. Ph. Vignard, "CRIQUET - Version 2 - Un outil de base pour construire des Systèmes Experts", Rapport de recherche INRIA, Centre Sophia Antipolis, (n°380), (mars 1985)
3. J-M. Hullot, "Programmer en CEYX - CEYX - Version 15", Document INRIA - Centre Rocquencourt (été 1984)
4. P. Haren, M. Montalban, "Prototypical Objects for C.A.D. Expert Systems, COMPINT'85, (septembre 1985)
5. "PROLOG II - Version 2.1 VAX 11", PROLOGIA, Intelligence Artificielle et Logique.

#### An Expert System on Bioclimatic and Energy Efficient Building in Hot/Humid or Hot/Dry Climates

Carolyn Dry

Virginia Polytechnic Institute and State University  
Department of Architecture  
Blacksburg, Virginia 24060 USA

Baruch Givoni

University of California at Los Angeles  
Los Angeles, California 90024 USA

#### KEYWORDS

Expert Systems, Hot/Humid, Hot/Dry, Energy Efficient

#### ABSTRACT

The Construction Engineering Research Lab of the Army supported this project on a bioclimatic and energy efficient expert system. The goal was to indicate to a user through an interactive expert system the optimal ways of building, energy efficiently, for comfort in hot humid or hot dry climates. An empty expert system was used initially for a designer to indicate decision conditions, external conditions and goal conditions. This offered a minimal interaction with information given only at the beginning stage. Because of the morphology of the information and the necessity for strategizing, the authors felt it necessary to develop a very interactive mode for the user. This was done. The results given by the interactive strategizing expert system were more appropriate than the minimally interactive expert system for the cases tested.