

CONTROLE DE COHERENCE ET DE FAISABILITE DE PROJETS DANS UN SYSTEME DE C.A.O. BATIMENT

Reçu le 17/11/1999 – Accepté le 10/04/2001

Résumé

Le contrôle de la cohérence et de la faisabilité est devenu une préoccupation essentielle pour les développeurs de systèmes de C.A.O., car les concepteurs et les utilisateurs ont besoin d'outils pour vérifier la validité de leur conception. Nous supposons qu'une large partie de ce contrôle est intégrée dans les modules techniques. Cependant, plus particulièrement lors de l'étude des phases précoces de conception, il s'avère indispensable d'identifier les causes des dysfonctionnements. Après une analyse des différents types d'anomalies que nous pouvons rencontrer durant le processus de conception pouvant conduire à des incohérences ou des «non faisabilité» d'un projet, nous avons déduit les méthodes appropriées pour informer les utilisateurs à bon escient. Elles sont généralement basées sur des vérifications automatiques et transparentes avec des possibilités de reports de déclenchement des contrôles.

Mots Clés: *Bâtiment, CAO, Systèmes Experts.*

Abstract

Controlling coherence and feasibility has become an essential preoccupation for the CAD system developers because designers/users need tools to check their design availability. We assume that a large part of this control is integrated in the current technical modules but, especially for the preliminary design stages, it seems necessary to find out the causes of malfunction. After an analysis of the various types of anomalies one can encounter during the design process and leading to incoherence or non feasibility, we have drawn up appropriate methods to provide the users with listing of errors. They are generally based on an automatic and transparent checking with the possibility of delayed triggering.

Key Words: *Building, CAD, Expert System.*

M. BELACHIA

Y. CHERAIT

Institut de Génie Civil
Centre Universitaire de Guelma
BP401, 24000 Guelma (Algérie)

A. MESSABHIA

Institut de Génie Civil
Centre Universitaire de Tebessa
12000 Tebessa (Algérie)

J. DUFAU

Laboratoire de Génie Civil
et Habitat ESIGEC
Savoie Technolac
73376 Le Bourget du Lac (France)

ملخص

لقد أصبحت مراقبة تناسق وفعالية مشروع
عمارة الإهتمام الشاغل لمطوري أنظمة التصميم
بمساعدة الحاسوب. لأن هؤلاء المصممين و
المستعملين يحتاجون إلى آليات لمعاينة مدى صحا
تصاميمهم و حساباتهم. نعتقد أن القسط الأكبر من هذا
المراقبة قد أدمجت خلال وضع المقاييس التقنية للنظام
غير أنه و منذ الدراسة المسبقة للمشروع يجب معاينة
أسباب أي خلل. بعد دراسة مجموع أصناف الخلل التي
يمكن مصادفتها خلال عملية التصميم و التي بإمكانها
أن تؤدي إلى عدم تناسق و عدم فعالية المشروع
وضعنا الطرق اللازمة لإعلام المستعملين في الوقت
المناسب. هذه الطرق تعتمد على المعاينة الآلية و
الشفافية مع إمكانية تأجيل عملية المراقبة.

الكلمات المفتاحية: *العمارات، التصميم بمساعدة
الحاسوب، النظام الخبير.*

CONCEPTOR est un système de C.A.O. bâtiment développé autour
d'un environnement d'application d'intelligence artificielle
environnement d'application d'intelligence artificielle KOOL et utilisant
un modeleur graphique basé sur le logiciel Autocad. L'ensemble des
processus est écrit en langage Lisp.

Les types de traitements adoptés dans le module résultent des
potentialités du langage Kool (un langage orienté objet et des règles de
production). Le premier nous offre un mode de traitement automatique:
les réflexes. Le second type de traitement, offrant un déclenchement
automatique, est basé sur les règles.

Afin de mieux positionner le problème de cohérence et faisabilité au
cours d'une étude de projet bâtiment, nous allons brièvement exposer le
contenu de ces deux notions:

- La cohérence étendue à l'étude des projets de bâtiment est une
composante présente sous diverses formes durant toutes les étapes du
processus de conception, tout en conservant son sens global lié à la
compatibilité de conception des différents éléments entre eux. Toute
construction est un ensemble de divers équipements et ouvrages qui ne
doivent pas présenter de contradictions. L'ensemble des solutions doit
évoluer dans une bonne logique tout au long du processus. Cette
cohérence doit être vérifiée dès le choix de partis et demeure un souci
constant en raison de l'importance de la masse d'information souvent en
conflit généré par les niveaux de détail. Les contrôles correspondants
devront être effectués avec une vision plutôt technicienne liée à la
perception que l'on peut avoir de chaque élément pendant et après la
construction du bâtiment. Nous distinguons de plus les incohérences

relatives à la méthodologie de conception en particulier celles concernant les interactions entre les solutions proposées par chaque spécialiste.

- La faisabilité d'un projet est caractérisée par les conditions de sa réalisation et de son fonctionnement compte tenu des possibilités techniques. Nous distinguons plusieurs types de faisabilité dans le cycle d'étude d'un projet bâtiment, dont:

* la faisabilité administrative: les différentes facettes de cette faisabilité prennent place au tout début du processus de conception. Nous ferons ici l'hypothèse que le programme de la construction est correct et considérons par conséquent que la faisabilité administrative est hors du champ d'application du présent travail.

* la faisabilité technique et architecturale: elle représente le diagnostic formulé à propos d'une combinaison de solutions élémentaires en termes de possibilités de construction [1], de sécurité et d'économie. Cette facette repose principalement sur le savoir-faire lié aux différents domaines traités. Ces éléments sont surtout contenus dans les différents D.T.U et dans les documents professionnels traitant de pathologie. C'est sur cette composante que portera principalement notre travail.

Nous avons commencé par analyser les diverses sources de dysfonctionnement. Elles nous ont conduits à regrouper les anomalies mises en évidence par les contrôles en quatre grandes rubriques qui représentent l'ensemble des domaines de l'étude d'un projet bâtiment.

Dans la nature de leurs causes, nous pouvons identifier:

- la topologie: regroupe les anomalies liées à la définition architecturale du projet,

- l'incompatibilité: touche les aspects du bâtiment qui ne sont pas conforme aux règles de l'art, au savoir-faire et aux méthodes traditionnelles de construction,

- le non-respect des contraintes: englobe le respect des contraintes réglementaires et de celles que le concepteur s'est fixées.

- les manques: concernent les éléments nécessaires pour le bon fonctionnement du bâtiment et qui sont absents du projet.

Nous avons ensuite défini des procédures spécifiques de traitement de ces divers types de dysfonctionnement. Ceux-ci feront l'objet des paragraphes ultérieurs, mais auparavant, il est essentiel de souligner que les contrôles de cohérence et faisabilité doivent, chaque fois que cela est possible, faire partie intégrante du système initial.

Listons les techniques essentielles qui permettent une telle prise en compte.

INTEGRATION DANS LES MODULES

Le concepteur d'une base de données d'un projet doit d'abord déterminer quelle est la connaissance à représenter, puis l'exprimer, l'organiser et définir les contraintes à lui imposer pour qu'elle soit en accord avec l'univers modélisé [2]. Cela se traduit par des objets, des relations et des restrictions de domaine, afin de pouvoir s'approcher de la réalité du modèle. Toute modélisation assure donc de manière intrinsèque une certaine cohérence pour la

représentation et l'exploitation de connaissance au moyen de contraintes d'intégrité. Les différentes représentations actuelles, notamment celle qui nous a servi de support d'expérimentation dans le projet CONCEPTOR [3] possèdent ces fonctionnalités.

Intégration dans les modules de calculs

Nous allons parcourir quelques modules d'évaluation qui sont contenus dans les systèmes de C.A.O bâtiment et plus spécialement dans le système CONCEPTOR. Nous pouvons au passage mettre en évidence une partie des règlements et contraintes inclus dans ces modules:

- **Structure:** Les méthodes de calcul employées sont calquées le plus possible sur celles préconisées par les règlements en vigueur (règles B.A.E.L 91). Dans ce module, les ouvrages de structure (murs, poteaux, poutres, planchers) sont dimensionnés en accord avec la réglementation, à partir de la descente de charge effectuée automatiquement. Le simple fait que celle-ci soit réalisable traduit une certaine cohérence de l'aspect structure du projet.

- **Fondation:** tous les calculs sont basés sur l'application de la réglementation relative aux fondations (règles B.A.E.L 91) pour le prédimensionnement et les différents documents techniques (D.T.U 68) (D.T.U 83) pour l'étude de la portance et des tassements des ouvrages.

- **Thermique:** l'évaluation pour un logement des déperditions thermique, des besoins en chauffage et le calcul de la consommation énergétique sont basés sur la nouvelle réglementation thermique Française.

Utilisation des modeleurs graphiques

Le modeleur graphique est un outil permettant de structurer des informations graphiques (ainsi que certaines informations complémentaires, alphanumériques en général) créées ou manipulées selon un schéma conceptuel prédéfini par l'utilisateur à des fins d'utilisation externe. Il permet la gestion d'entités complexes à partir et par l'intermédiaire de leur représentation graphique [4]. Il est possible d'intégrer au modeleur une part importante du comportement du modèle, notamment pour ce qui concerne les problèmes de cohérence, de validation ou de faisabilité technique élémentaire qui peuvent (ou doivent) être réglés dès la phase de saisie. Ils sont qualifiés de modeleurs graphiques intelligents.

Module spécifique de contrôle

A partir de ce qui a été exposé ci-avant, nous concluons qu'une partie du contrôle de cohérence et de faisabilité est dispersée dans les programmes spécialisés de calculs, dans les modeleurs graphiques et dans les modèles de représentation. Cependant, une part non négligeable de ces contrôles ne peut être facilement intégrée dans les trois aspects précités. Il faut noter en particulier que les différents aspects réglementaires sont principalement applicables en phase de dimensionnement d'ouvrages. En revanche, il existe assez peu de consignes régissant les choix de partis initiaux. Ceci teste un domaine d'investigation privilégié alors que les risques d'incohérence sont à ce stade

particulièrement importants. Le rôle du module spécifique est par conséquent l'intégration de ces connaissances laissées pour compte.

SPECIFICATION DU MODULE

Objectifs - fonctionnalités

L'objectif premier de ce module consiste à contrôler en permanence la cohérence et la faisabilité d'un projet de bâtiment au cours du processus de conception, depuis l'esquisse jusqu'à l'Avant Projet Détaillé (APD). Il faut bien noter que nous nous intéresserons au contrôle et non pas à la maintenance de la cohérence - faisabilité. Cette notion de maintien s'avère plus globale; elle comprend, en plus du contrôle, la proposition de solutions.

Cette finalité de contrôle induit deux fonctions, à savoir:

- l'information de l'utilisateur.
- la gestion des connaissances.

La fonction d'information est essentielle. Elle constitue la partie visible sur laquelle repose toute la réussite d'un tel module. En effet, l'utilisateur doit pouvoir s'informer à tout instant de l'état de son projet vis-à-vis de cette problématique. Mais le système doit par ailleurs pouvoir forcer l'information lorsque l'alerte s'avère suffisamment grave pour remettre en cause la suite de l'évolution du projet. Indépendamment de la qualité et de la validité des contrôles effectués, toute l'efficacité de cette action sera perçue par le concepteur à travers l'interface de communication et son ergonomie.

Comme pour tout système à base de connaissances, la gestion de ces dernières revêt un aspect primordial. Il s'agit d'une part du maintien de celles-ci, et d'autre part, de leur paramétrage éventuel, en fonction des spécificités de chaque projet que nous appellerons "gestion de l'environnement".

La maintenance des connaissances est un problème délicat, principalement pour deux raisons:

* elles sont multi-techniques, ce qui signifie que l'ensemble des connaissances manipulées provient du savoir de plusieurs domaines techniques (structure, thermique, architecture,...); chaque ensemble étant sous la responsabilité d'un spécialiste différent. En conséquence, chacun doit pouvoir identifier sa part, et une supervision s'avère nécessaire pour gérer les conflits.

* l'utilisation de ces connaissances est par nature morcelée, ponctuelle, permanente, ce qui impose une répartition et une distribution à travers tout le schéma conceptuel. Ainsi, a priori, la base de connaissances n'est pas clairement localisée et ne constitue pas un ensemble homogène vis-à-vis de notre problématique.

Au regard de cette préoccupation de maintenance, le schéma d'intégration nécessite une analyse toute particulière et s'avère une phase importante de la mise en œuvre.

Chaque projet de bâtiment étant un cas particulier, il est nécessaire d'adapter, de paramétrer les connaissances à la spécification de l'étude. La fonction de gestion de l'environnement vise à initialiser toutes les variables et tous

les paramètres qui caractériseront ce projet. Cette fonction intervient également au cours de l'étude, notamment par exemple, lorsqu'il s'agit de relâcher des contraintes trop fortes qui bloquent l'évolution du projet, surtout pour ce qui concerne la faisabilité. Le contrôle sera ainsi plus tolérant.

Le fonctionnement

Quatre qualifications peuvent décrire le fonctionnement de ce module:

- automatique,
- transparent,
- discret,
- souple.

L'utilisateur ne doit pas se soucier de l'activation de ce module qui doit être opérationnel en permanence au moyen de contrôle automatique.

En revanche, le concepteur sera sollicité pour des actions externes au module:

- **paramétrage:** à l'exception du paramétrage du module, l'action est invisible et ne doit transparaître que par l'interface de communication à la demande du concepteur ou exceptionnellement lors d'un contrôle négatif mettant en jeu l'évolution du projet,

- **gel:** le module ne doit pas gêner les habitudes de travail du concepteur. Cela signifie que son fonctionnement ne dépend pas de séquence de travail prédéterminée. La souplesse d'utilisation conduit à tolérer des états incohérents pendant une phase d'essai ou de construction longue de solution. Pendant ce temps, les vérifications seront dites gelées et le module devient observateur,

- **demande d'information:** le concepteur choisit le moment le plus propice pour actionner l'interface de communication afin d'obtenir un tableau de bord de l'état des contrôles.

En terme de bilan, cela se traduit par une identification de tous les états possibles pour un objet manipulé par le concepteur. On peut décrire une table d'évolution des états d'un objet vis-à-vis des vérifications de cohérence et faisabilité. Le contexte traduit le type de fonctionnement du module, c'est-à-dire le fait que les vérifications soient gelées ou actives.

Les actions envisageables par le concepteur à un instant donné influent sur l'objet. On peut identifier cinq causes conduisant à un changement d'état d'un objet:

- ajout d'information sur l'objet,
- modification d'information de l'objet,
- demande de contrôle de la part de l'objet,
- dégel du module, ce qui a pour effet de rendre actives les vérifications sur l'objet,
- contrôle de l'objet.

DEMARCHE DE TRAITEMENT

Contexte

CONCEPTOR est implémenté sous forme d'une surcouche à l'environnement de développement de système à base de connaissances Kool (Kool-Bull) de la société Bull [5]. Kool propose un langage orienté objet associé à des

règles de production d'ordre 1. La plupart des processus sont écrits en langage Lisp, mais d'autres langages sont utilisés (C, Fortran). Les possibilités de communication du système d'exploitation UNIX nous permettent d'employer des programmes externes. De son côté, le modèleur GRAM à été développé à partir du logiciel Autocad et du langage Autolisp, auxquels ont été ajoutées des fonctionnalités objets.

Typologie de traitement

Les types de traitements adoptés dans le module résultent des potentialités du langage Kool, à savoir:

- un langage orienté objet,
- des règles de production.

Le premier nous offre un mode de traitement automatique: les réflexes. Un réflexe peut être activé lors d'une ou plusieurs manipulations portant sur la valeur d'un attribut d'un objet. Afin de respecter un principe de base de toute représentation orientée objet, c'est-à-dire l'encapsulation, nous n'utiliserons les réflexes que pour des contrôles de cohérence et faisabilité se rapportant au seul objet. Cela signifie que l'ensemble des informations nécessaires est contenu dans les attributs de cet objet.

Le second type de traitement offrant un déclenchement automatique est basé sur les règles. Kool affecte aux prémisses de celles-ci des attributs déclencheurs pouvant faire référence à plusieurs objets distincts. Dès qu'une action porte sur un attribut déclencheur, Kool évalue les prémisses de la règle afin d'exécuter la conclusion si les conditions sont satisfaisantes.

Il s'agit donc de l'outil complémentaire aux réflexes permettant d'effectuer des contrôles mettant en jeu des interactions entre objets.

Nous pouvons noter l'avantage supplémentaire que représente les règles de production, à savoir qu'elles favorisent une approche déclarative des problèmes de contrôle de cohérence et faisabilité.

Elément de mise en œuvre

L'utilisation des règles et réflexes doit être complétée par deux aspects afin de cadrer parfaitement avec nos objectifs.

- Vérification actives ou gelées (Fig. 1)

Comme il est défini dans les spécifications, il faut pouvoir désactiver les règles et réflexes pendant une session de travail. Cependant, il convient d'identifier et de mémoriser les contrôles qui auraient du être effectués afin de les exécuter dès la réactivation des vérifications.

Ainsi, l'activation des règles et réflexes est conditionnée par une fonction de contrôle testant la valeur de la variable caractérisant l'état des vérifications (active ou gelée). Dans le cas de gel, la vérification (règles ou réflexes) est stockée dans une pile afin d'être différée.

- Vérification en veille (Fig. 2)

Cette autre contrainte de mise en œuvre a trouver son

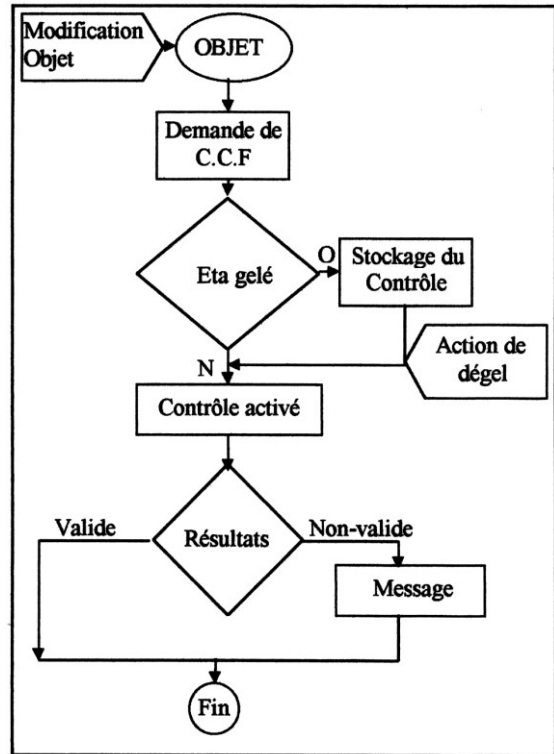


Figure 1: Schéma de fonctionnement du gel.

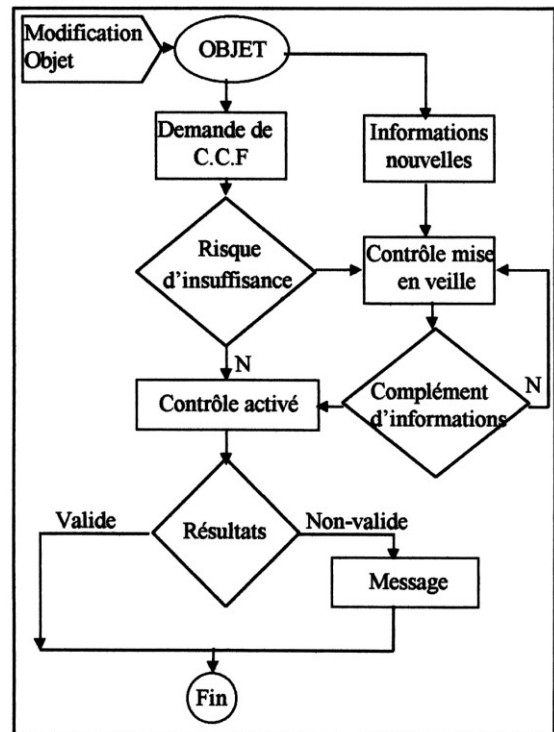


Figure 2: Schéma de fonctionnement mise en veille.

origine dans la souplesse d'utilisation du système de C.A.O: le concepteur adopte la démarche de travail qu'il désire. Cela signifie que lors du déclenchement d'un contrôle, les informations connues ne sont pas toujours les mêmes; par

conséquent il faut prévoir l'éventualité où le contrôle ne peut être mené à son terme faute d'information. Dans ce cas, il faut différer la vérification en attente de compléments d'informations.

Conformément à la procédure de gel, la procédure de veille met en œuvre une fonction de test sur la disponibilité de l'information nécessaire à la vérification. Cela implique aussi que l'énoncé de cette dernière décrive les informations nécessaires à son exécution. Dans la négative, le contrôle est mis dans une liste d'attente. Dès que l'information sera disponible, la vérification mise en veille sera déclenchée et supprimée de la liste.

Kool nous a permis d'introduire un nouveau réflexe spécifique appelé "cohérence" déclenchable lors de l'évaluation, modification ou suppression de la valeur d'un attribut. Le réflexe procède d'abord à un premier test afin de connaître l'état des vérifications (actives ou gelées), puis un second afin de tester la disponibilité des informations, enfin il lance la fonction contrôle (Fig. 3).

Les règles que nous utilisons fonctionnent en chaînage avant. La conclusion de la règle correspond à une exécution comparable à celle du réflexe "cohérence" à savoir: test de l'activation, de la disponibilité des informations puis activation du contrôle. Les prémisses permettent d'identifier les objets et leurs attributs déclencheurs.

```
(fonction execute_verif (objet attribut valeur controle)
; vérification de l'état de gel de vérification
constitue le verif = (controle objet attribut valeur)
(si état_gel = gelé
alors
    (si verif n'est pas incluse dans liste_stock
    stocker verif dans liste_stock)
sinon
    (si (test_info_disponible = valide)
    alors
        (exécuter fonct_contrôle (objet attribut valeur))
    sinon
        (stocker verif dans liste_des_contrôle_en_veille)
    )
)
)
```

Figure 3: Test de l'état de gel et de la disponibilité des informations.

Exemple de règles:

Concernant l'alignement de la fenêtre et de l'isolant, il peut y avoir occurrence d'erreur se rapportant aux deux objets en même temps, qui sont l'isolant du séparateur et de la fenêtre se trouvant sur la même facette.

La règle en langage naturel peut être exprimée par:

```
"Si un séparateur est porté par une facette i
et
Si une fenêtre est portée par la facette i
Alors effectuer les vérifications des positions de
l'isolant et fenêtre.
"
```

Figure 4: Exemples de règles.

Intégration

L'intégration d'un tel module dans un système de C.A.O ne peut pas se faire par une simple juxtaposition comme ce serait le cas pour un module technique. En effet, il faut pouvoir distribuer la connaissance du schéma conceptuel et des mécanismes mis en jeu. Ce problème ajouté à celui de la maintenance et la cohérence de la base de connaissance nous ont conduit à définir une partie administration du module prenant en charge la gestion des connaissances (édition, mise à jour, consultation, cohérence,...) (Fig.5).

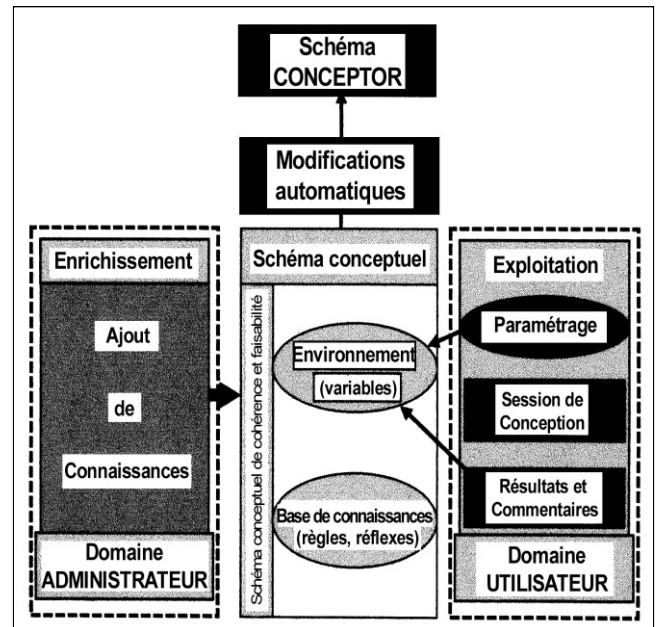


Figure 5: Organisation et schéma d'intégration.

Compte tenu de la complexité du schéma et des multiples sources d'erreur, ce module offre une procédure automatique permettant de distribuer les connaissances relatives aux contrôles au sein des objets visés. Les avantages sont doubles:

- En apparence, la base de connaissance utilisée par ce module est unique et complète.
- Il n'y a pas d'erreurs possibles dans la modification du schéma conceptuel, ce qui évite de bloquer le travail du concepteur lors des phases d'actualisation.

Bien évidemment, une syntaxe adaptée permet de relier chaque bride de connaissances définies dans la base aux objets visés.

CONCLUSION

Le contrôle de cohérence et faisabilité d'un projet bâtiment représente une tâche indispensable dans un contexte de conception multi-technique. Le module spécifique qui en résulte se doit de travailler en collaboration étroite avec la modélisation retenue dans le système. Compte tenu du fonctionnement de type automatique et de la distribution des connaissances aux

niveaux des différents concepts du schéma, la Représentation Orientée Objet constitue un outil particulièrement adapté. La représentation d'une partie de ces connaissances par des règles de production est un complément indispensable à la R.O.O. Notons que peu d'outils tel que Kool offrent des potentialités d'adaptation suffisantes pour mettre en œuvre un tel module.

Pour celui-ci, l'aspect gestion des connaissances par nature multi-technique (donc dépendant de plusieurs spécialistes) nécessite la mise en œuvre d'un administrateur performant pour éviter une action directe sur le schéma, et la rendre aussi transparente et automatique que possible.

Pour conclure, il faut remarquer que la plus grande part de travail reste à effectuer, à savoir rassembler les connaissances des spécialistes afin de rendre expérimental ce module.

REFERENCES

- [1]- Mussier L., Mangin J.C., Cutting Decelle A.F., "Conception des Bâtiment: aide à la recherche de solutions constructives bois", Annales GC Bois - French journal of Timber Engineering - Vol 2, 1997.
- [2]- Masini G., Napoli A., Colnet D., Léonard D. et Tombre K., "Les langages à objet", La Loupe: Intereditions, 1989.
- [3]- Dufau J., Mommessin M., Sauce G. et Lefèbvre F., "Approche multitechnique et dynamique de la conception de bâtiment: le prototype CONCEPTOR" - AREC DAO91. Barcelone, 1991-Ministrio de Obras Publicas y Urbanismo, (1991), pp. 139-150.
- [4]- Mommessin M. et Sauce G., "GRAM: un modeleur graphique orienté objet", Actes de la 11ème conférence internationale - MICAD92, 11-14 Février 1992 - Paris: HERMES, (1992), pp 577-594.
- [5]- Bull - Kool V2 : Manuel de référence. □