

**P. LE GAUFFRE**  
**M. MIRAMOND**

Institut National des Sciences  
Appliquées de Lyon  
Département Génie Civil  
et Urbanisme  
Laboratoire Méthodes

---

**Gestion des modifications  
d'un projet de bâtiment  
à l'aide d'un système expert**

**RESUME**

L'objet des travaux présentés ici concerne l'optimisation des méthodes de conception de l'habitat dans un contexte de CAO. Partant d'une analyse critique du fonctionnement des systèmes de CAO-Bâtiment actuels, nous nous intéressons plus particulièrement au problème de l'aide aux modifications d'une proposition. Assurer la qualité du projet, tout en réduisant coûts et délais d'étude, nécessite en effet de guider le concepteur dans la recherche d'une solution "meilleure" du point de vue multicritère.

Dans un premier temps, nous présentons les principes de modélisation de la qualité retenus, destinés à favoriser l'analyse de la qualité du projet, c'est-à-dire la définition des sources des non-qualités éventuellement observées.

Nous présentons ensuite un prototype de système expert en cours de développement devant permettre, à partir d'un constat de non-qualité, de définir parmi le champ des actions possibles, un ensemble d'actions susceptibles de supprimer cette non-qualité puis d'évaluer a priori, pour une de ces actions, et en fonction des règles de construction adoptées pour le projet, l'ensemble de ses multiples conséquences et donc son opportunité réelle.

Le système présenté, développé sur micro-ordinateur avec le langage PROLOG, devrait servir de base de référence pour le module expert d'aide aux modifications ultérieurement adjoint au système de CAO X2A.

**SUMMARY**

The aim of works presented in this paper is the optimization of dwelling desing methods within a CAD context.

Starting from a critical analysis of some dwelling CAD systems, we shall interest ourselves more particularly to the problem of the aid to give to the designer during modification of his proposal. In fact, to ensure both the quality of the project and the reduction of studies costs and delays, we have to guide the designer during the research of a "better solution" for the multicriteria point of view.

In a first part, we shall present the principles of modelisation of the project quality, intended to facilitate the analysis of the project quality that is the definition of the roots of the non-qualities observed.

Afterwards, we shall present a prototype of expert system, not yet definite, intended to enable, for a non-quality found, the definition of a set of actions apt to suppress this non-quality, and the evaluation, a priori, for one of these actions, of the set of all its numerous consequences, therefore its real opportunity, and this in taking into account the construction rules adopted for the project.

### **INTRODUCTION : LA GESTION DE LA QUALITE DU PROJET DANS UN CONTEXTE DE CAO**

*Les objectifs généraux auxquels est aujourd'hui confronté le système de production de l'habitat : réduction des coûts de construction, diminution des dépenses en énergie et promotion d'un habitat de qualité, nous ont conduit à aborder le problème de l'aide à la décision dans le domaine de la conception de l'habitat en terme de gestion de la qualité.*

*Lors de la phase de conception, la nécessité d'une gestion de la qualité est induite par les deux objectifs conflictuels :*

- \* production d'un projet de qualité
- \* réduction des coûts et des délais d'étude

*Les recherches menées antérieurement au sein du Laboratoire Méthodes de l'INSA de LYON sur l'informatisation du processus de conception de l'habitat se sont concrétisées par les systèmes de CAO ETEA (1) et X2A (2).*

*Ces systèmes, destinés à faciliter la maîtrise des aspects économiques et techniques dès l'avant-projet, permettant d'appréhender rapidement les conséquences des décisions du concepteur, offrent une possibilité plus grande d'études de variantes, et contribuent donc à une meilleure maîtrise de la qualité du projet, ainsi que des coûts et des délais d'étude.*

*Cependant, le principe de fonctionnement de ces systèmes : principe itératif - conversationnel (proposition - évaluation - modification) ne permet pas d'assurer une réelle gestion de la qualité du projet, le concepteur n'étant pas explicitement guidé dans la recherche d'une solution "meilleure".*

*Nos travaux actuels portent donc sur l'élaboration d'outils informatiques permettant de guider le concepteur lors de la modification de sa proposition (3).*

*Selon nous, l'aide aux modifications d'une proposition passe non seulement par la mesure de la qualité du projet, mais plus précisément par l'analyse de la qualité, c'est-à-dire la détermination des sources des défauts éventuels.*

*L'élaboration d'un système d'aide aux modifications doit donc s'appuyer sur un modèle explicatif de la qualité du projet. En effet, il ne sera possible de définir les actions correctives à entreprendre que si l'on peut disposer d'une représentation quantifiable de la qualité, d'une représentation des liens entre les différentes caractéristiques qualitatives prises en compte ainsi que des conflits entre les différents objectifs fixés.*

## **A - MODELISATION DE LA QUALITE DU PROJET**

### **1. PRINCIPES DE MODELISATION**

*La modélisation de la qualité proposée s'appuie sur une double décomposition de la qualité du bâtiment en cours de conception :*

*a. décomposition hiérarchique : la nécessité de pouvoir procéder à une analyse de la qualité du projet, c'est-à-dire à la recherche des sources des non-qualités, nous conduit à décomposer la qualité du bâtiment conformément à la décomposition hiérarchique de celui-ci :*

*bâtiment - étage i - appartement i,j - pièce i,j,k*

Ainsi, en associant à chaque entité du bâtiment les performances qui se rapportent à cette partie de l'ouvrage, nous pouvons envisager l'examen de la qualité du projet suivant deux démarches :

- \* l'ANALYSE de la qualité : par une démarche descendante, donnant accès à une information de plus en plus précise
- \* la SYNTHÈSE de la qualité : par une démarche ascendante.

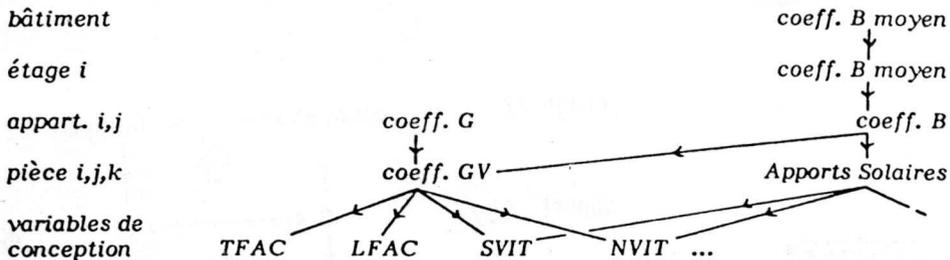
b. décomposition en critères : la définition et l'appréciation de la qualité d'une entité quelconque du bâtiment nécessitent la définition d'un vecteur qualité associé à une base d'objectifs de qualité relatifs aux fonctions de l'entité. Pour chaque entité-type (bâtiment, étage, appartement, pièce), nous avons donc :

- \* un ensemble d'objectifs de qualité
- \* un ensemble de critères permettant de mesurer la qualité de l'entité vis-à-vis de chacun des objectifs
- \* un ensemble de performances, chacune représentant un niveau de satisfaction vis-à-vis de l'un des critères.

La définition des critères de qualité relatifs à chaque entité-type repose sur la valeur pragmatique de ces critères. A partir des critères issus de la réglementation, nous avons choisi de définir les autres critères suivant le principe suivant :

- \* chaque critère relatif à une entité "pièce" est défini comme une fonction des variables de conception relatives à l'entité
- \* chaque critère relatif à une entité de type "appartement", "étage" ou "bâtiment" est défini comme une fonction des critères relatifs aux sous-entités de cette entité.

exemple : sous graphe du graphe des critères



Le graphe des critères regroupe donc des critères issus de la réglementation (coeff. B et G, par exemple) ainsi que des critères dont l'évaluation doit permettre au concepteur de procéder à l'analyse ou la synthèse de la qualité du projet. Les critères GV (déperd. thermiques et A-S : apports solaires) définis pour une entité Pièce doivent permettre de définir les sources d'une non-qualité relative à l'objectif thermique pour un appartement ainsi que les actions possibles pour supprimer cette non-qualité.

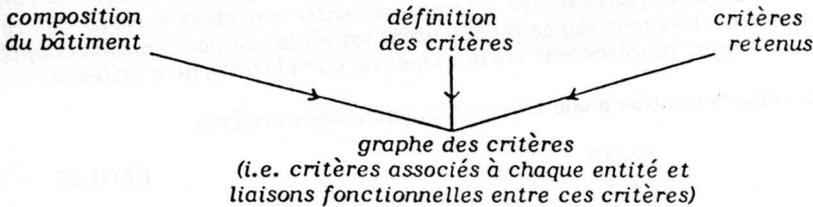
c. corrélations entre critères : comme nous l'avons souligné précédemment, la modélisation numérique de la qualité n'est pas suffisante pour constituer la base d'un outil d'aide aux modifications. En effet, pour maîtriser les conséquences d'une modification de sa proposition initiale, le concepteur doit pouvoir connaître les corrélations existant entre les différentes performances évaluées. Des actions telles que modifier la technologie de façade ou la surface vitrée d'une pièce ont en effet de multiples conséquences sur les performances de différentes entités du bâtiment.



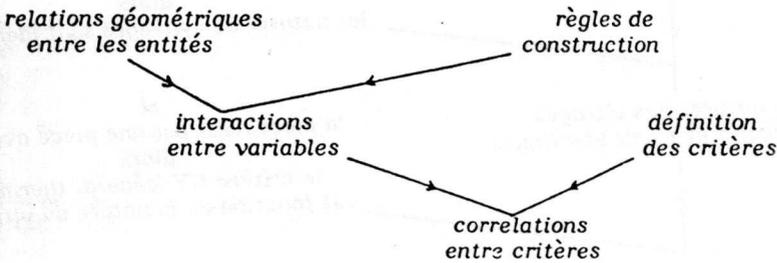
## 2. PROCEDURE DE MODELISATION

Comme nous l'avons souligné précédemment, la construction du graphe des critères relatifs à un projet, ainsi que la définition des corrélations entre ces critères sont des raisonnements de type déductif. En outre, les informations traitées sont exclusivement des données symboliques.

Le graphe des critères est déduit de la définition formelle des critères et de la composition du bâtiment :



Les corrélations entre critères sont déduites de la définition formelle des critères et des interactions entre variables, elles-mêmes déduites des relations géométriques entre les différentes entités et des règles de construction adoptées pour le projet :-



Pour les deux raisons énoncées plus haut (traitement de données symboliques et raisonnements déductifs), l'outil informatique retenu pour la modélisation de la qualité du projet est un système expert développé avec le langage FROLOG.

## 3. UN SYSTEME EXPERT POUR LA MODELISATION DE LA QUALITE

Le système présenté nous permet de modéliser la qualité d'un projet de bâtiment en réalisant les opérations suivantes :

- \* construction du graphe des critères relatifs au projet
- \* définition des interactions entre variables et des corrélations entre critères
- \* définition des seuils de qualité associés aux critères

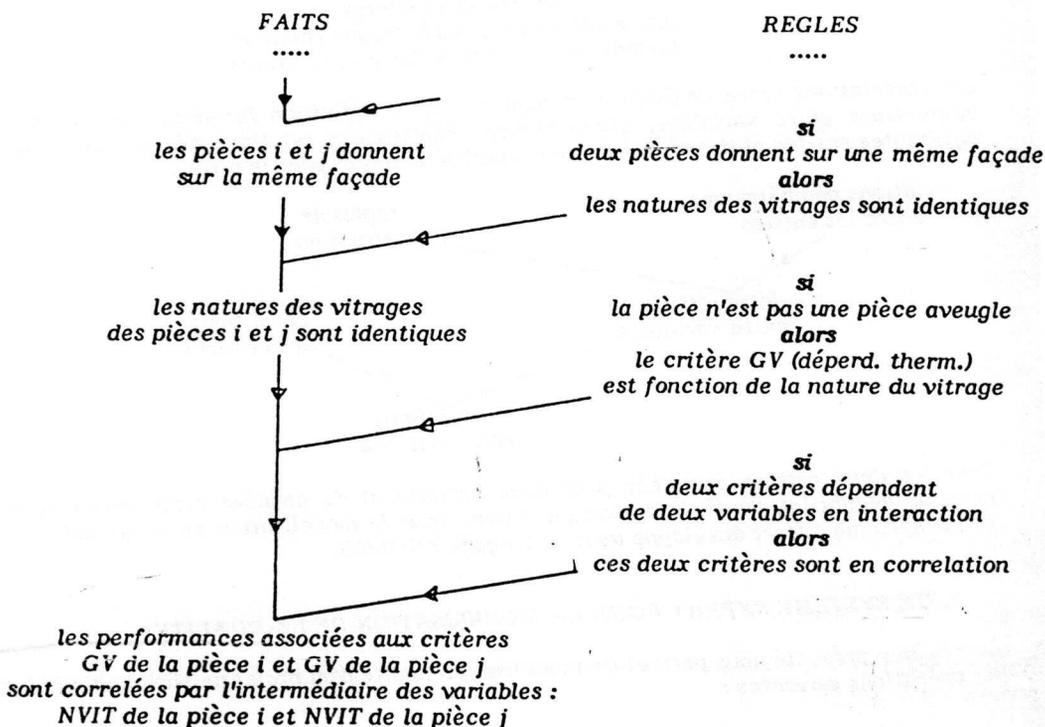
Pour ce qui concerne les deux premières opérations, les faits et règles manipulés sont les suivants :

**FAITS :** \* la description du bâtiment en entités de types : étage, appartement, pièce, facette (cette description du bâtiment peut être obtenue directement à partir de la base de données projet du système de CAO X2A) (2)

- \* les critères retenus par le concepteur pour apprécier la qualité du projet

**REGLES :** \* règles définissant chaque critère d'une entité comme une fonction de variables de conception ou comme fonction de critères relatifs à des sous entités de l'entité  
 \* règles définissant les interactions entre variables à partir des relations géométriques entre entités (ces règles représentent les règles de construction adoptées)  
 \* règles représentant les principes de corrélation entre critères.

**exemple :** détermination d'une corrélation entre deux critères



La troisième phase nécessaire à la construction d'un modèle explicatif de la qualité du projet est la définition des seuils de qualité associés à chaque critère. Pour les critères réglementaires, ces seuils sont déduits de l'environnement (zone climatique, par ex.) et des valeurs de certaines variables de conception (type de chauffage, par ex.).

Les critères, non réglementaires, que nous avons défini en sus, doivent permettre l'analyse de la qualité du projet, c'est-à-dire la définition des sources des non-qualités, ceci afin de restreindre le champ des actions possibles pour supprimer ces non-qualités. La définition des seuils associés à ces critères est donc déterminante du point de vue de la valeur pragmatique du modèle.

En règle générale, les seuils associés à ces critères seront fixés en fonction des seuils des critères réglementaires :

\* le seuil associé au critère GV (déperd. thermiques en  $W/m^3 \cdot ^\circ C$ ) d'une entité Pièce est fixé à partir :

1) du seuil associé au critère G ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ ) relatif à l'entité Appartement à laquelle appartient cette pièce

2) du ratio : 
$$\frac{\text{surface des pièces en contact avec l'extérieur}}{\text{surface totale de l'appartement}}$$

\* le seuil associé au critère A-S (apports solaires en  $W/m^3 \cdot ^\circ C$ ) d'une entité Pièce est fixé à partir :

1) des seuils associés aux critères réglementaires G et B ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ ) relatifs à l'entité Appartement

2) du ratio : 
$$\frac{\text{surface des pièces vitrées}}{\text{surface totale de l'appartement}}$$

(évalué a priori en fonction du type d'appartement)

3) de l'orientation de la pièce considérée si l'appartement a une double orientation

par exemple :

si : la zone climatique est la zone H1

et si : l'appartement est de type T4

et si : l'appartement a une double orientation Sud-Ouest

alors : - les A-S requis pour une pièce au Sud sont :

$$A-S = 0.0200 * 1.4 * 1.3 = 0.0360 W/m^3 \cdot ^\circ C$$

- les A-S requis pour une pièce à l'Ouest sont :

$$A-S = 0.0200 * 1.4 * 0.7 = 0.0200 W/m^3 \cdot ^\circ C$$

## B - GESTION DE LA QUALITE DU PROJET : AIDE AUX MODIFICATIONS D'UNE PROPOSITION

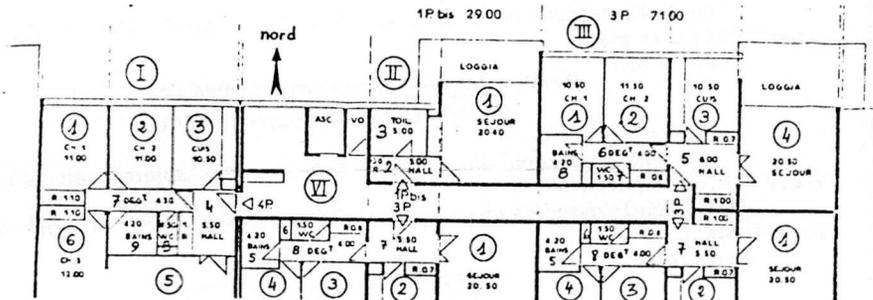
### 1. EXPLOITATION DU MODELE DE LA QUALITE

Le modèle explicatif de la qualité que nous avons présenté est destiné à permettre :

\* la définition des sources d'une non-qualité relative à un critère réglementaire, et des actions possibles pour supprimer cette non-qualité (c.a.d. les variables de conception sur lesquelles le concepteur peut agir).

\* la définition des conséquences d'une de ces actions possibles, c'est-à-dire la définition des critères en corrélations avec le critère visé.

L'exemple présenté ci-dessous concerne la recherche des causes d'une non-qualité relative au critère G d'un appartement. Le graphe des critères permet de déterminer les différents critères relatifs à des entités "Pièces" dont dépend le critère G de l'appartement (les critères GV des différentes pièces). La comparaison des performances aux seuils, associés à ces critères, permet de définir les sources de la non-qualité (ici les déperditions GV relatives aux pièces séjour et cuisine). La définition des actions possibles consiste ensuite à rappeler les variables de conception dont dépend un critère correspondant à une de ces sources de la non-qualité. Enfin, pour une action envisagée pour améliorer la valeur d'un critère, on peut obtenir l'ensemble des conséquences prévisibles c'est-à-dire la liste des critères dont les valeurs seront affectées (dans cet exemple, l'action envisagée est la modification de la technologie de la façade nord : TFAC-N, tous les critères relatifs à une entité pièce, touchés par cette action sont listés, ainsi que les performances associées).



CAUSES d'une NON-QUALITE relative a un APPARTEMENT

nom du critere : ) G.  
 numero de l'appart.: ) 1.  
 numero de l'etage : ) 1.

G	fonction de	GV de BRINS	(0 / 0 )	
G	fonction de	GV de WC	(0 / 0 )	
G	fonction de	GV de DEGAGEMENT	(0 / 0 )	
G	fonction de	GV de CHAMBRE-3	(78 / 84 )	
G	fonction de	GV de SEJOUR	(90 / 84 )	sources de la non-qualité
G	fonction de	GV de HALL	(0 / 0 )	
G	fonction de	GV de CUISINE	(91 / 84 )	
G	fonction de	GV de CHAMBRE-2	(83 / 84 )	
G	fonction de	GV de CHAMBRE-1	(83 / 84 )	

ACTIONS POSSIBLES pour supprimer une NON-QUALITE relative a une PIECE

nom du critere: ) GV.  
 numero de la piece: ) 3. ————> CUISINE  
 numero de l'appart.: ) 1.  
 numero de l'etage : ) 1.

GV	fonction de	HSP	hauteur sous-plafond
GV	fonction de	SHD	surface hors d'oeuvre
GV	fonction de	LFAC-N	largeur
GV	fonction de	TFAC-N	technologie
GV	fonction de	SVIT-N	surface
GV	fonction de	NVIT-N	nature
GV	fonction de	LLNC	linéaire et technologie de la paroi
GV	fonction de	TLNC	en contact avec un local non chauffé

CRITERES en CORRELATION avec un CRITERE PIECE

nom du critere: ) GV.  
 action retenue: ) TFAC-N.  
 numero de la piece : ) 3.  
 numero de l'appart.: ) 1.  
 numero de l'etage : ) 1.

etage:1	appart:1	CHAMBRE-1	GV (83 / 84 )	TFAC-N
etage:1	appart:1	CHAMBRE-1	LEXT (25 / 29 )	TFAC-N
etage:1	appart:1	CHAMBRE-2	GV (83 / 84 )	TFAC-N
etage:1	appart:1	CHAMBRE-2	LEXT (25 / 29 )	TFAC-N
etage:1	appart:6	CIRCUL-VERT	GV (0 / 0 )	TFAC-N
etage:1	appart:2	TOILETTES	GV (0 / 0 )	TFAC-N
etage:1	appart:2	SEJOUR+KIT	GV (92 / 70 )	TFAC-N
etage:1	appart:2	SEJOUR+KIT	LEXT (20 / 30 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	CHAMBRE-1	GV (83 / 79 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	CHAMBRE-1	LEXT (25 / 29 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	CHAMBRE-2	GV (83 / 79 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	CHAMBRE-2	LEXT (25 / 29 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	CHAMBRE-2	GV (83 / 79 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	CHAMBRE-2	LEXT (25 / 29 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	CUISINE	GV (86 / 79 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	SEJOUR	GV (130 / 79 )	TFAC-N
etage:1	appart:3	SEJOUR	LEXT (20 / 30 )	TFAC-N

## 2. PERSPECTIVES - CONCLUSION

L'exemple présenté montre comment le système, dans son état actuel, permet à partir d'un constat de non-qualité, de définir parmi le champ des actions possibles, un ensemble d'actions susceptibles de supprimer cette non-qualité, puis de définir a priori, pour une de ces actions, et en fonction des règles de construction adoptées pour le projet, l'ensemble de ses conséquences.

Ces conséquences sont actuellement définies de manière formelle, c'est-à-dire en indiquant uniquement les performances touchées.

La formulation d'heuristiques représentant numériquement d'une part les relations entre variation d'une variable et variation d'une performance, d'autre part les interactions entre variables (heuristiques obtenues soit par simulations numériques multiples, soit par formalisation du savoir faire) doit nous permettre très prochainement de chiffrer a priori, pour une variation requise sur un critère, la variation nécessaire pour une variable donnée, et les variations induites sur toutes les performances touchées. L'obtention de ces résultats à travers l'utilisation d'heuristiques doit nous permettre de définir très rapidement l'opportunité d'une action envisagée et donc de guider le concepteur vers les actions les plus opportunes, ou lui permettre de formuler un problème d'optimisation multicritère restreint susceptible d'être résolu par les techniques classiques (4) (5) (6).

## BIBLIOGRAPHIE

1. **D. BOISSIER, J. DUFAU, M. MIRAMOND**  
 "Pour une recherche sur l'évaluation de la qualité technique et économique de l'esquisse et de l'avant-projet sommaire d'un bâtiment à usage d'habitation : un système interactif sur micro-ordinateur"  
 INSA LYON, Contrat de recherche PLAN CONSTRUCTION, rapport final, mars 1983
2. **CIMA, ENSMSE, INSA, UNIVERSITE DE SAVOIE**  
 "Pour un système de conception assistée par ordinateur en avant-projet sommaire de bâtiment"  
 Contrat de recherche PLAN CONSTRUCTION
3. **P. LE GAUFFRE, M. MIRAMOND**  
 "Recherche sur l'optimisation des méthodes de conception de l'habitat dans un contexte de CAO : Analyse multicritère et gestion de la qualité d'un projet de bâtiment"  
 INSA LYON, Contrat de recherche PLAN CONSTRUCTION, rapport n°2, avril 1986
4. **J.L. COHON**  
 "Multiobjective Programming and Planning"  
 Academic Press, New York, 1978
5. **A.D. RADFORD, J.S. GERO, M.A. ROSENMAN**  
 "Pareto optimization as a computer aided design tool"  
 IFIP Optimization in Computer Aided Design, LYON, 24-26 oct. 1983
6. **H. BOTTA, M. BOUYAT, M. MIRAMOND**  
 "A contribution to optimization in dwelling design"  
 IFIP Optimization in Computer Aided Design, LYON, 24-26 oct. 1983

P. LE GAUFFRE - M. MIRAMOND

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON  
 Département Génie Civil et Urbanisme  
 Laboratoire Méthodes - Bâtiment 304  
 20 avenue Albert Einstein  
 69621 VILLEURBANNE Cédex