

**Élaboration d'une base de
connaissances destinées à un
système expert en vue
d'évaluer la qualité
de l'air des tours
d'habitation**

Université du Québec
ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
Département de génie de la construction

C E P I C

Centre d'études pour l'industrialisation de la construction

RAPPORT FINAL

**ÉLABORATION D'UNE BASE DE CONNAISSANCES DESTINÉE À
UN SYSTÈME EXPERT EN VUE D'ÉVALUER LA QUALITÉ
DE L'AIR DES TOURS D'HABITATION**

par

Prof. Edmond Miresco, ing., M. Ing.
Hugo Windisch, ing. jr
Jacqueline Gruia-Gray, ing., M. Ing.

Septembre 1992

La Société canadienne d'hypothèque et de logement, l'organisme du logement du gouvernement du Canada, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation.

Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitation, l'expansion et le développement urbains.

Aux termes de la Partie IX de la Loi, le Gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à en publier et à en diffuser les résultats. La SCHL a donc l'obligation légale de veiller à faire largement connaître tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie.

La présente publication est l'un des nombreux moyens d'information que produit la SCHL grâce au concours financier du gouvernement fédéral.

Déni de responsabilité

Ce document a été rédigé par le Centre d'études pour l'industrialisation de la construction (CEPIC) à l'intention de la Société canadienne d'hypothèque et de logement en vertu de la Partie IX de la Loi nationale sur l'habitation. L'analyse, les interprétations et les recommandations sont l'oeuvre du consultant et ne correspondent pas nécessairement aux points de vue de la Société, ou encore, des ses divisions ayant participé à l'étude et à sa publication.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. ÉLÉMENTS DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR	3
2.1 Renseignements généraux sur le bâtiment	3
2.2 Problèmes liés à la qualité de l'air intérieur	4
2.3 Liste des symptômes	4
2.4 Liste des constatations	5
2.5 Endroits touchés par la qualité de l'air	6
2.6 Aires communes des bâtiments	6
2.7 Logements individuels	7
3. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME EXPERT	8
3.1 Principaux éléments de la base de connaissances	9
3.2 Principales caractéristiques du système EXPAIR	12
3.3 Composantes principales du système EXPAIR	14
3.3.1 Les réseaux	14
3.3.2 Les noeuds	15
3.3.3 Les attributs des noeuds	15
3.3.4 Les COMMANDES des noeuds	16
3.3.5 Les flèches	19
3.3.6 Les variables	19
3.3.7 Les DIALOGUES	19
3.4 Solutions proposées	21
3.5 Caractéristique particulière des fenêtres	22
3.6 Adaptation du système expert EXPAIR à d'autres situations .	25
4. DONNÉES DE LA BASE DE CONNAISSANCES	26
5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	39
5.1 Conclusions	39
5.2 Recommandations	41

1. INTRODUCTION

Le problème de la qualité de l'air dans les bâtiments s'est assez intensifié dernièrement, en grande partie en raison du relèvement de leur isolation thermique et de leur étanchéité par souci d'économiser l'énergie. Cette situation a entraîné des problèmes concernant l'humidité, la température, les polluants, l'échange d'air et les odeurs qui caractérisent la qualité de l'air d'un bâtiment. On a donc insisté davantage sur la qualité convenable de l'air et cette volonté a motivé la présente recherche.

Les bâtiments industriels, commerciaux et résidentiels diffèrent trop entre eux pour permettre de généraliser les problèmes de qualité de l'air intérieur et les solutions possibles correspondantes. Pour diverses raisons, les tours d'habitation ont été retenues pour la recherche. De nombreux bâtiments résidentiels ont été rénovés pour en accroître l'isolation thermique, sans que l'amélioration de la qualité de l'air ait été considérée et c'est pourquoi bon nombre de problèmes qui sont récemment apparus demeurent insolubles pour les gestionnaires immobiliers. De plus, les normes et les codes régissant les bâtiments résidentiels se ressemblent davantage par leur genre que ceux des immeubles industriels ou commerciaux qui requièrent habituellement une plus grande spécialisation.

Un système expert comme celui présenté ici aidera l'utilisateur à résoudre ces problèmes.

Les principaux éléments de la recherche sont les suivants :

- . une façon de détecter les problèmes potentiels de qualité de l'air intérieur;
- . un moyen de déterminer la source des problèmes, c.-à-d. un système expert;
- . un outil servant à définir la nature et la gravité du problème de qualité de l'air;
- . un ensemble de solutions aux problèmes de la qualité de l'air dans les tours d'habitation.

Les données de la base de connaissances sur la qualité de l'air intérieur proviennent principalement des documents suivants fournis par la Société canadienne d'hypothèques et de logement :

- . Protocole d'essai de la qualité de l'air intérieur des tours d'habitation, Buchan, Lawton, Parent Ltd. Ottawa, Ontario. Avril 1990.
- . Field Investigation Survey of Air Tightness, Air Movement and Indoor Air Quality in B.C. Highrise Apartment Buildings. Avalon Mechanical Consultants Ltd. Victoria, British Columbia. Juillet 1991.

- . Enquête sur le terrain portant sur l'étanchéité à l'air, le mouvement de l'air et la qualité de l'air intérieur des tours d'habitation au Québec. CMA Chalifour, Marcotte et Ass. inc. Québec. Septembre 1991.
- . Field Investigation Survey of Air Tightness, Air Movement and Indoor Air Quality in Highrise Apartment Buildings Prairie Region. Wardrop Engineering Inc. Winnipeg, Manitoba. Novembre 1991.
- . Field Investigation Survey of Air Tightness, Air Movement and Indoor Air Quality in Highrise Apartment Buildings Atlantic Region. BFL Consultants Limited. St. John's, Newfoundland. Avril 1991.

Des textes sur le sujet ont également été consultés.

Le rapport présente les résultats de la recherche et le système expert **EXPAIR** élaboré pour traiter des problèmes liés à la qualité de l'air dans les tours d'habitation. Ce travail a été effectué à l'École de technologie supérieure de l'Université du Québec grâce à une subvention de la Société canadienne d'hypothèques et de logement. L'équipe de l'ÉTS était représentée par le professeur Edmond T. Miresco, Hugo Windish et Jacqueline Gruia-Gray, assistante de recherche.

Compte tenu que ce travail a été accompli dans une période assez courte et avec des fonds limités, nous sommes d'avis que le système **EXPAIR** correspond à un système expert autonome comportant une base de connaissances sur la qualité de l'air intérieur. Il est cependant possible que les renseignements rassemblés puissent être approfondis par un expert en la matière.

Nous croyons que le rapport et le système expert **EXPAIR** vous satisferont et que vous les considérerez comme une solution à la situation que vous nous aviez présentée. Nous comptons recevoir vos commentaires et ceux des experts qui vérifieront le programme et sa base de connaissances.

2. ÉLÉMENTS DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

.1 Renseignements généraux sur le bâtiment

Le tableau suivant présente les principaux groupes de renseignements liés à la qualité de l'air intérieur :

RENSEIGNEMENT	BUT
Année de construction	Présenter à l'utilisateur des choix quant au chauffage, à la ventilation, etc. ayant rapport à l'année de construction.
Année de rénovation	Si des travaux de rénovation ont eu lieu, présenter les éléments précités selon l'année de la rénovation.
Accessibilité des renseignements sur l'immeuble	Possibilités de solutions
Chauffage	Produits de combustion possibles
Ventilation	Installations mécaniques, polluants possibles, problèmes d'échange d'air, etc.
Humidificateurs	Polluants, odeurs, température, humidité
Sous-sol et trous	Possibilités de problèmes causés par le radon, la moisissure, etc.
Équipement de l'immeuble	Possibilités de secteurs à problèmes

2.2 Problèmes liés à la qualité de l'air intérieur

Voici les principaux groupes de problèmes liés à la qualité de l'air intérieur :

- . POLLUANTS

- . ÉCHANGE D'AIR

- . ÉTANCHÉITÉ DE L'IMMEUBLE

- . TEMPÉRATURE

- . HUMIDITÉ

- . CONCENTRATIONS EXTÉRIEURES

- . ODEURS

La description de ces problèmes est présentée au moyen d'une sélection de symptômes et de constatations indiqués ci-dessous.

2.3 Liste des symptômes

Voici la liste des symptômes risquant d'influer sur la qualité de l'air des bâtiments :

- . Température
 - . trop chaude
 - . trop froide

- . Humidité
 - . trop sec
 - . trop humide

- . Odeurs

- . Symptômes physiques
 - . Respiration difficile
 - . Irritation des voies respiratoires
 - . Toux
 - . Éternuements
 - . Irritation des yeux, du nez, de la gorge
 - . Maux de tête
 - . Fatigue
 - . Nausées
 - . Éruptions cutanées
 - . Évanouissements
 - . Vue brouillée
 - . Yeux humides

2.4 Liste des constatations

Voici la liste des constatations qui peuvent nuire à la qualité de l'air dans les bâtiments :

- . organique
 - . moisissure
 - . fungus
 - . bactéries

- . Diffuseurs
 - . saleté autour
 - . dépôts calcaires autour

- . Taches humides

- . Rénovations

- . nouveaux meubles
- . nouvelle moquette
- . peinture

- . Utilisation d'insecticides

- . Entretien du bâtiment
 - . nouveau matériel

- . Inondation

- . Courants d'air

- . Saisons

- . Activités des occupants

2.5 Endroits touchés par la qualité de l'air

L'endroit du problème est un facteur important dans l'évaluation de la qualité de l'air d'un bâtiment. Dans les tours d'habitation, deux endroits sont déterminés :

- . aires communes des bâtiments
- . logements individuels

2.6 Aires communes des bâtiments

- . Garage
 - . extérieur
 - . intérieur
 - . ventilé
 - . non ventilé

- . Corridors

- . Entrée

- . Piscine, sauna et gymnase
 - . toit
 - . sous-sol

- . Ascenseurs

- . Local des ordures

- . Buanderie
 - . à chaque étage
 - . au sous-sol

- . Sous-sol du bâtiment

- . Escaliers

2.7 Logements individuels

- . Étages

- . Secteurs du bâtiment

- . Aires communes à proximité

3. CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME EXPERT

Voici le schéma général de l'évaluation de la qualité de l'air dans un bâtiment :

SYSTÈME EXPERT POUR ÉVALUER LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES BÂTIMENT

SCHÉMA GÉNÉRAL

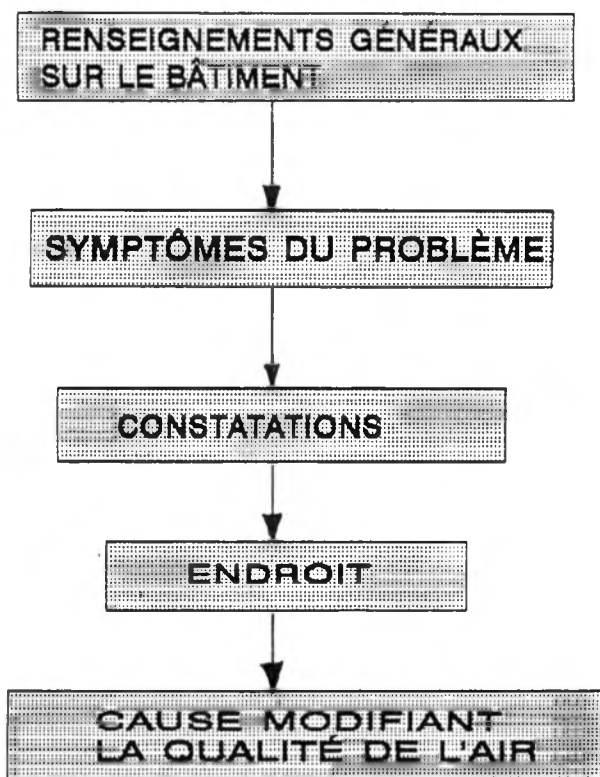


Figure 1

3.1 Principaux éléments de la base de connaissances

Les connaissances requises relativement à la qualité de l'air des tours d'habitation sont constituées de renseignements très diversifiés. La base de connaissances du système contient l'information en blocs de séquences et l'ordre de ces blocs respecte certaines règles préétablies. La combinaison de ces règles représente le fondement de notre système expert.

Le niveau d'information le plus élémentaire de la base de connaissances s'appelle un «objet graphique». Ces objets graphiques sont les suivants :

- . un noeud, qui représente une mesure à prendre;
- . une flèche, qui représente un lien entre deux noeuds (mesures);
- . un noeud de décision, qui produit les règles.

Les objets graphiques de la base de connaissances sont structurés de manière à faciliter leur manipulation par le moteur d'inférence. Comme toute autre base de connaissances, la nôtre contient un ensemble de règles, chacune ayant sa propre représentation graphique.

En plus des objets graphiques, la base de connaissances contient un autre type d'éléments appelés «attributs». Ces attributs facilitent la représentation de l'information à l'écran, le regroupement de certains blocs et la communication de renseignements supplémentaires relatifs à chaque noeud en particulier.

Toutes les connaissances sont introduites en mode graphique et stockées de façon à permettre leur récupération dans ce même mode. L'utilisateur qui introduit les connaissances utilisera ces objets graphiques.

En vue d'évaluer la qualité de l'air dans une tour d'habitation, l'utilisateur doit fournir les trois éléments suivants :

- . endroits

- . constatations
- . symptômes

L'endroit signifie le lieu exact, ou voisin, où se situe le problème dans la tour d'habitation. Dans certaines situations, cet endroit permettra de fournir une solution plus précise au problème. Si, par exemple, de la moisissure et des taches humides sont observées près de la piscine, la solution ne sera pas la même que s'il s'agissait du local de la mécanique. Nous avons dressé ci-dessous la liste des endroits des tours d'habitation sur lesquels porte principalement la base de connaissances.

Les éléments qui indiquent l'existence d'un problème de qualité de l'air intérieur sont décrits par les constatations et les symptômes. Une constatation peut être vérifiée au toucher, à la vue ou à l'odorat alors qu'un symptôme est habituellement un sentiment de malaise défini par les occupants. Les deux s'établissent en général à partir de plaintes formulées par les locataires. Le tableau qui suit présente la liste des constatations et des symptômes liés aux problèmes de la qualité de l'air intérieur. Ils constituent les éléments de la base de connaissances du système **EXPAIR**.

TABLEAU 1

ENDROITS	CONSTATATIONS	SYMPTÔMES
PISCINE	AIR VICIÉ	SÉCHERESSE DES YEUX
GARAGE	FONGUS	SÉCHERESSE DU NEZ
LOCAL DES ORDURES	SUBSTANCE VISQUEUSE	SÉCHERESSE DE LA GORGE
LOCAL MÉCANIQUE	MOISSISURE	TOUX
BUANDERIE	INONDATION	ÉTERNUEMENTS
LOGEMENTS INDIVIDUELS	TACHES HUMIDES	ALLERGIES RESPIRATOIRÈS
	FLAQUES D'EAU	ALLERGIES PENDANT LA
	MANQUE D'AIR	SAISON DE POLLINISATION
	COURANTS D'AIR	PROBLÈMES RESPIRATOIRES
	ENDROITS FROIDS ET	IRRITATION DES YEUX, DU
	CHAUDS	NEZ ET DE LA GORGE
	ODEUR	MAUX DE TÊTE
	SALETÉ AUTOUR DES	FATIGUE
	DIFFUSEURS	NAUSÉES
	NOUVEAUX MEUBLES	IRRITATION DE LA PEAU
	CONSTRUCTION -	PALPITATIONS
	RÉNOVATION	DOULEUR À LA POITRINE
	AGENTS DE NETTOYAGE	ÉVANOUISSEMENTS
	ENTREPOSÉS	YEUX HUMIDES
	NETTOYAGE DES TAPIS	VUE BROUILLÉE
	NOUVELLE PEINTURE	
	NOUVEAUX MATÉRIAUX	
	DE CONSTRUCTION	

Certains renseignements particuliers également consignés dans la base de connaissances portent sur le matériel existant dans le bâtiment et sur les tests relatifs aux polluants. Ces éléments font l'objet d'une description détaillée dans la section suivante.

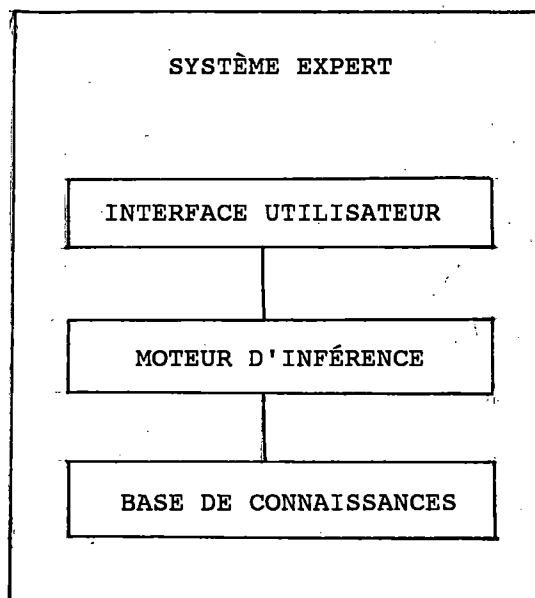
Pour accroître l'exactitude et le détail des solutions apportées aux problèmes de qualité de l'air intérieur, on a également besoin de données

portant sur le matériel assurant la qualité de l'air. La base de connaissances inclut des détails sur ce genre de matériel.

Certains problèmes peuvent être précisés grâce à des tests simples. La base de connaissances permet également d'appliquer ces tests en vue d'obtenir des solutions appropriées.

Le système expert sur la qualité de l'air a été nommé, à juste titre, **EXPAIR**. Il facilite pour son utilisateur la détermination et la résolution de problèmes de qualité de l'air dans les tours d'habitation.

Le système expert offre une méthode simple et visuelle qui correspond parfaitement aux besoins de l'utilisateur. **EXPAIR** réunit toutes les composantes d'un système expert en plus de permettre l'impression d'un rapport. Voici sa structure :



3.2 Principales caractéristiques du système EXPAIR

Voici les principales caractéristiques du système **EXPAIR** :

- Le système expert est programmé en langage C++ et utilise le système d'exploitation MS-DOS.

- . Le moteur d'inférence est adapté selon les éléments reconnus et les normes du domaine de l'intelligence artificielle, de façon à permettre la manipulation des règles conformément à la documentation et aux expériences traitant de la qualité de l'air dans les tours d'habitation.

- . La base de connaissances du système expert a été élaborée à partir d'études menées pour le compte de la Société canadienne d'hypothèques et de logement relativement à la qualité de l'air dans les tours d'habitations de l'ensemble du Canada ainsi qu'à partir de documents sur le sujet. Les problèmes habituels liés à la qualité de l'air dans les habitations ont été mentionnés et des solutions pratiques, fournies.

- . Le système **EXPAIR** se divise en trois sections où l'information doit être introduite et de sous-sections incluses à l'occasion.

- . Grâce à la polyvalence du moteur d'inférence du système expert, la base de connaissances peut être mise à jour ou modifiée au fur et à mesure que de nouveaux renseignements ou de nouvelles données se présentent.

- . Le système expert permet de sauvegarder certains renseignements dans des fichiers distincts pour consultation ultérieure. Cela conviendra à l'utilisateur qui désire effectuer un test proposé par le système ou essayer une des solutions fournies.

- . L'interface de communication entre l'utilisateur et le système expert fonctionne d'une manière simple et semblable à ce que l'on considère comme la norme. À l'aide de la souris, l'utilisateur n'a qu'à désigner et à choisir des éléments contenus dans les questions et les messages présentés au moyen de fenêtres. Un clic permet de choisir l'élément et deux d'obtenir l'information correspondante.

- . Le rendement et la conception ergonomique du système expert tiennent compte des besoins de l'utilisateur. De plus, la conception du système permet aux utilisateurs non initiés à l'informatique de l'appliquer à leurs problèmes sans difficulté.

3.3 Les composantes principales du système EXPAIR

Voici les principales composantes de la base de connaissances du système EXPAIR :

- . RÉSEAUX
- . VARIABLES
- . DIALOGUES

3.3.1 Réseaux

Les RÉSEAUX représentent certains éléments de la base de connaissances exprimés par des NOEUDS et des liens logiques qui forment des chemins. Les RÉSEAUX se servent des VARIABLES et des DIALOGUES comme composantes des COMMANDES des NOEUDS. La description et la fonction de chaque RÉSEAU sont présentées dans le guide d'utilisation du système EXPAIR.

Les noeuds et les chemins sont déclenchés par le moteur d'inférence selon leur position (qui a été déterminée par le concepteur de la base de connaissances). Lorsque l'utilisateur choisit une VARIABLE dans un des écrans de DIALOGUES, la valeur de la variable passera de 0 à 1 et sera transmise au moteur d'inférence. Le chemin à suivre dans un RÉSEAU sera dicté par la logique imposée par l'utilisateur.

Le moteur d'inférence traduit la logique comme suit. Un réseau doit comporter un réseau PRINCIPAL. Dans un réseau, la logique doit débiter au noeud START. Le moteur d'inférence traverse le réseau de gauche à droite en suivant les flèches. Arrivé à une fourche, il suit le chemin «le plus haut» non exploré. Autrement dit, il emprunte le premier chemin. Si une solution s'y trouve, les résultats sont affichés. Dans le cas contraire, le moteur se rendra jusqu'à la fin du chemin, retournera à la fourche et suivra le

deuxième chemin (le plus bas) et ainsi de suite. La logique doit être structurée de façon qu'une solution soit finalement trouvée puisque le moteur d'inférence suivra tous les chemins et ne s'arrêtera que s'il trouve une solution.

Chaque noeud rencontré a une fonction particulière. Il existe trois types de noeuds et chaque noeud comporte des options et des commandes. Si une commande est associée à un noeud, le moteur d'inférence l'exécutera. Voici des exemples de commandes : imprimer un message, afficher un dialogue, effectuer un test.

3.3.2 Les noeuds

Un réseau est formé de trois types de noeuds (START, SOLUTION et NORMAL) et chaque noeud a des attributs et des commandes. Bien qu'au moment de définir un noeud, la fenêtre présente tous les choix, chaque type de noeud n'admet que certains attributs ou commandes. Voici ces types :

START Il marque le début d'un réseau. Chaque nouveau réseau doit avoir un noeud START. Les attributs ne modifieront pas ce noeud, et la commande, s'il y en a une, ne sera pas prise en compte.

SOLUTION Il marque un point dans la logique lorsqu'une solution est trouvée. La commande de ce noeud est exécutée et si le résultat n'est pas nul (habituellement lorsque la valeur est de 1), l'exécution est interrompue. Si le résultat est nul, l'exécution continue jusqu'à la rencontre d'un autre noeud de solution.

NORMAL Il définit les noeuds suivant la noeud START. Ce noeud peut utiliser un attribut et une commande. Cette dernière est toujours requise.

3.3.3 Les attributs des noeuds

Voici les ATTRIBUTS des noeuds et leurs fonctions :

- IF** Il sert à choisir entre deux chemins (deux possibilités de logique). La commande associée à ce noeud est évaluée. Si le résultat de la commande est TRUE (valeur 1), les noeuds suivants seront exécutés. Si le résultat est FALSE (valeur 0) le chemin comportant une flèche de type ELSE sera suivi. (La notion de la flèche de type ELSE sera expliquée ci-dessous.)
- PAUSE** Ce type de noeud crée une pause dans le système expert et offre un choix à l'utilisateur. Lorsque l'exécution est en «pause», l'utilisateur peut appuyer sur la touche Next pour continuer ou Previous pour retourner au noeud précédent ayant l'attribut **MARK**. Cet attribut est habituellement utilisé pour donner à l'utilisateur le temps de lire le message.
- MARK** Cet attribut marque un point de retour accessible lorsque la touche Previous a été utilisée. Cela arrête la marche arrière du mouvement. Tous les noeuds explorés entre la touche Previous et le **MARK** le seront à nouveau, comme dans une boucle.
- BRN** Cet attribut marque le début d'une boucle. (non requis pour cette base de connaissances)
- TRN** Cet attribut marque la fin d'une boucle. (non requis par cette base de connaissances)

3.3.4 Les **COMMANDES** des noeuds

La **COMMANDE** des noeuds définit la «règle» observée par le système expert lorsque l'utilisateur lance le chemin où est situé le noeud.

Les commandes sont suivies de phrases, de mots ou de variables qui définissent la base de connaissances du système expert.

Chaque **COMMANDE** est limitée à un maximum de 48 caractères. Il est donc fréquent que la commande se poursuive dans un autre noeud qui y est

rattaché. Les COMMANDES suivantes définissent comment seront traités les phrases, les mots ou les variables qui les suivent.

Les COMMANDES sont les suivantes :

OR est fréquemment suivi d'une ou de plusieurs variables. Ce type de COMMANDE s'utilise généralement avec l'attribut IF. Si, parmi les variables présentées dans ce noeud, une ou plusieurs sont déclenchées par l'utilisateur, le chemin suivant ce noeud sera choisi. Si toutes les variables sont vraies (TRUE), le résultat de la commande est vrai (TRUE).

AND est généralement suivi d'une ou de plusieurs variables. Ce type de COMMANDE s'utilise habituellement avec l'attribut IF. Si, parmi les variables présentées dans le noeud, l'utilisateur en déclenche une ou plusieurs, le chemin suivant ce noeud sera choisi. Si toutes les variables sont vraies (TRUE), le résultat de la commande est vrai (TRUE).

EQ Ce type de COMMANDE s'utilise généralement avec l'attribut IF. Si la valeur des deux variables déclenchées par l'utilisateur est égale (EQUAL) (résultat TRUE), le chemin suivant le noeud sera choisi.

NE Ce type de COMMANDE s'utilise généralement avec l'attribut IF. Si les valeurs des deux variables déclenchées par l'utilisateur ne sont pas égales (NOT EQUAL) (résultat TRUE), le chemin suivant le noeud sera choisi.

GE Ce type de COMMANDE s'utilise généralement avec l'attribut IF. Si la valeur de la variable déclenchée par l'utilisateur est supérieure (GREATER) ou égale (EQUAL) à l'autre variable (résultat TRUE), le chemin suivant le noeud sera choisi.

- GT Ce type de COMMANDE s'utilise généralement avec l'attribut IF. Si la valeur de la variable déclenchée par l'utilisateur est supérieure (GREATER) à l'autre variable (résultat TRUE), le chemin suivant le noeud sera choisi.
- LE Ce type de COMMANDE s'utilise généralement avec l'attribut IF. Si la valeur de la variable déclenchée par l'utilisateur est inférieure (LESS) ou égale (EQUAL) à l'autre variable (résultat TRUE), le chemin suivant le noeud sera choisi.
- LT Ce type de COMMANDE s'utilise généralement avec l'attribut IF. Si la valeur de la variable déclenchée par l'utilisateur est inférieure (LESS) à l'autre variable (résultat TRUE), le chemin suivant le noeud sera choisi.
- CALL Ce type de COMMANDE fera appel à un autre nom de RÉSEAU en guise de commande. Les noeuds et les chemins associés au réseau seront ensuite suivis par le système expert. Ce noeud est déclenché parce qu'il se trouve dans un chemin qui est suivi.
- DIALOG Ce genre de COMMANDE sera utilisé avec un nom de type DIALOG. L'écran correspondant au DIALOG sera affiché dans le système expert lorsque le chemin comportant ce noeud sera déclenché.
- MESSAGE Ce type de COMMANDE affichera à l'écran et au fichier les caractères liés à cette commande.
- SMESSAGE Ce type de COMMANDE n'affichera qu'à l'écran les caractères liés à cette commande.
- PMESSAGE Ce type de COMMANDE n'affichera qu'au fichier les caractères liés à cette commande.

3.3.5 Les flèches

Les flèches indiquent le courant normal de la logique en reliant les noeuds. Bien que la logique ne puisse être représentée que par un seul type de flèches, dans certains cas on doit ordonner au moteur d'inférence de suivre le chemin découlant d'un test de logique. Par exemple, le résultat d'un noeud avec l'attribut **IF** pourrait être vrai (**TRUE**) ou faux (**FALSE**). Si une flèche normale assure le lien entre ces deux chemins, il sera impossible de distinguer lequel est le vrai chemin (**TRUE**) et lequel est le faux (**FALSE**).

Pour éviter ce problème, le vrai (**TRUE**) chemin est relié par une flèche normale, alors que le faux (**FALSE**) doit être relié par une flèche de type **ELSE**.

3.3.6 Les variables

Les variables sont des codes symboliques attribués aux renseignements de la base de connaissances par le programmeur et, au moment de leur utilisation, devraient être semblables au mot codé. La liste des variables est présentée dans le guide **EXPAIR**.

Chaque variable reçoit une valeur basée sur le système binaire. Ainsi, une valeur de 0 est habituellement la valeur implicite de la variable. Si la variable est choisie par l'utilisateur, sa valeur devient 1. Il s'agit là de la principale façon dont le moteur d'inférence tient compte de la sélection.

3.3.7 Les DIALOGUES

Les dialogues correspondent à des fenêtres dans lesquelles tous les renseignements introduits requis par le système sont représentés. L'utilisateur peut définir tout dialogue.

Dans le cas du système **EXPAIR**, les dialogues existants sont conçus pour les éléments suivants :

- . ENDROITS
- . CONSTATATIONS
- . SYMPTÔMES
- . MATÉRIEL
- . RÉSULTATS MESURÉS (tests)

La description de chaque DIALOGUE se trouve dans le guide EXPAIR.

Les renseignements fournis à chaque ligne de l'écran DIALOGUE sont définis par les trois types de champs suivants présents dans l'écran d'entrée :

LABEL : Permet de voir le texte introduit dans l'espace plus bas dans l'écran DIALOGUE en guise de commentaires ou de messages seulement.

BOOLEAN : Permet de voir le texte introduit dans l'espace plus bas et précédé de [] dans l'écran DIALOGUE en guise de sélection pour l'utilisateur. La valeur (0 ou 1) sera transmise au moteur d'inférence à titre de sélection modifiant la valeur des variables en cause.

NUMBER : Accepte qu'une valeur numérique soit attribuée à une variable.

De plus, pour chaque champ, le DIALOGUE a trois attributs particuliers dont voici la description :

TEXT : Fournit l'espace pour décrire le type LABEL, BOOLEAN ou NUMBER choisi avant.

VARIABLE : Fournit le nom des variables (identification) requis pour qu'elles soient lancées par cette sélection.

WIDTH : Permet à l'utilisateur de varier le nombre de caractères disponibles sur cette ligne. Cela correspond également à la largeur des zones ombrées dans les textes de types BOOLEAN et NUMBER.

3.4 Solutions proposées

Les solutions aux problèmes de qualité de l'air intérieur sont présentées à l'utilisateur à quatre niveaux qui apparaîtront selon les renseignements qu'il aura fournis. La précision de l'endroit, des constatations et des symptômes fournis par l'utilisateur détermineront le niveau de la solution.

Niveau 1 :

Il s'agit d'une solution détaillée propre à un endroit, à des constatations et à des symptômes. L'inscription de ce type de solution se trouve au haut de l'écran de SOLUTION où est mentionné l'endroit précis suivi des solutions spécifiques qui s'y rapportent.

ex. : endroit : piscine
solution

Niveau 2 :

Il s'agit d'une solution générale propre à un endroit, à des constatations et à des symptômes. L'inscription de ce type de solution se trouve au haut de l'écran de SOLUTION où est mentionné l'endroit suivi par des solutions générales connexes.

ex. : endroit : piscine
*** solution générale***

Niveau 3 :

Il s'agit d'une solution détaillée non particulière à un endroit, à des constatations et à des symptômes particuliers.
L'inscription de ce type de solution se trouve au haut de l'écran

SOLUTION où la mention de l'endroit indique TOUT ENDROIT, suivie des solutions précises qui s'y rattachent.

ex. : endroit : tout endroit
solution

Niveau 4 :

Il s'agit d'une solution générale non particulière à un endroit, à des constatations et à des symptômes particuliers.

L'inscription de ce type de solution se trouve au haut de l'écran SOLUTION où la mention de l'endroit indique TOUT ENDROIT, suivie des solutions générales qui s'y rapportent.

ex. : endroit : tout endroit
solution générale

Si l'utilisateur a précisé l'endroit d'un problème qui ne lui est pas particulier, la solution du niveau 2 apparaîtra pour l'endroit mentionné, suivie de la solution des niveaux 3 et 4. Il est à remarquer que la solution du niveau 4 est souvent semblable à la solution du niveau 2. De plus, l'utilisateur doit indiquer un endroit même si le lieu précis n'est pas connu.

3.5 Caractéristique particulière des fenêtres

Pour accroître davantage l'exactitude et le détail des solutions proposées par le système expert, des renseignements sur le matériel existant assurant la qualité de l'air intérieur est requis. Une fenêtre sur le matériel s'affichera pendant l'entrée de données, demandant à l'utilisateur de préciser l'existence de certaines pièces d'équipement dans le bâtiment. Encore une fois, l'utilisateur n'a qu'à cliquer la bonne réponse. Ces renseignements sont ensuite utilisés dans le moteur d'inférence pour fournir des solutions liées aux problèmes possibles du matériel existant ou à la nécessité d'installer le matériel manquant pour assurer une qualité

d'air intérieur convenable. Cette caractéristique n'est pas encore offerte dans le système expert **EXPAIR**.

Certains problèmes peuvent être déterminés par des tests simples. Étant donné que l'utilisateur d'un système expert n'a pas à être un expert, nous recommandons des tests simples pouvant être facilement exécutés par l'utilisateur. Les tests utilisés et leur mise en oeuvre sont décrits dans le tableau suivant.

POLLUANT	TEST	SPÉCIFICATIONS
FORMALDÉHYDE	Dosimètre passif PFI, échantillonneur 7 jours	Installer l'échantillonneur dans la zone problème ou à la source du polluant lorsque le taux d'air frais est bas. Analyse professionnelle en laboratoire requise.
BIOXYDE DE CARBONE	POMPE À MAIN ET TUBE DÉTECTEUR GASTEC ou DRÄGER	Placer le tube à la source du polluant, lorsque l'endroit est bien occupé, que le taux d'air frais est bas ou lorsque des produits de combustion risquent d'être présents.
MONOXYDE DE CARBONE	POMPE À MAIN/TUBE DÉTECTEUR GASTEC ou DRÄGER	Placer le tube à la source du polluant, dans la zone problème, les cages d'escalier reliées à la source ou les conduits d'échappement lorsque le taux d'air frais est bas ou que des produits de combustion risquent d'être présents.

Il est à noter que grâce à la souplesse du moteur d'inférences du système **EXPAIR**, il est possible d'inclure d'autres tests si l'utilisateur possède le matériel requis.

Il s'agit ici d'une autre occasion où il serait justifié que l'utilisateur emploie la fonction de sauvegarde du système expert afin d'arrêter le programme sans perdre l'information déjà introduite. Cela permet à l'utilisateur d'exécuter le test requis et de revenir au système à une date ultérieure avec le résultat. **REMARQUE** : Cette caractéristique ne fonctionne pas encore dans la présente version. La fenêtre des tests fournira à

l'utilisateur la gamme habituelle de possibilités associées au polluant en cause. Si le résultat du test est positif, les solutions proposées ne comprendront pas les solutions applicables dans le cas d'un résultat négatif. Si l'utilisateur choisit de ne pas effectuer le test indiqué par le système expert, la solution fournie inclura celles s'appliquant aux résultats négatifs et positifs.

3.6 Adaptation du système expert EXPAIR à d'autres situations

En raison de la polyvalence du moteur d'inférence du système expert élaboré dans le cadre de cette recherche, de nombreuses possibilités s'offrent pour des applications dans d'autres domaines. Les données de la base de connaissances seraient modifiées de manière à contenir les renseignements pertinents.

4. DONNÉES DE LA BASE DE CONNAISSANCES

Le tableau suivant contient la plupart des renseignements stockés dans notre base de connaissances. Les observations et les symptômes sont classés de façon alphanumérique afin d'éviter les répétitions. Ces codes sont décrits dans la légende qui suit le tableau.

ENDROIT	CONSTATATIONS	SYMPTÔMES	SOLUTIONS
PISCINE	D,E,F,G	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - enlever l'eau et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction
PISCINE	B,C,D,E,F,G	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - nettoyer la moisissure et remettre du coulis - remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction

PISCINE	général	général	- mettre en oeuvre un programme de nettoyage et d'entretien
BUANDERIE	B,C,D,E,G	1,2,3	- enlever la moisissure et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier le raccord du conduit d'évacuation de la sècheuse : - déboucher - nettoyer - raccorder - sceller les conduits
BUANDERIE	général	général	- mettre en oeuvre un programme de nettoyage et d'entretien
PISCINE	D,E,F,G	1,2,3	- enlever l'eau et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction
LOCAL DES ORDURES	A,B,C,F	1,2,3	- enlever la moisissure - nettoyer et désinfecter les conteneurs

			<ul style="list-style-type: none"> - nettoyer et désinfecter les vide-ordures - nettoyer et désinfecter les pièces de chaque étage - installer des ferme-portes et des joints d'étanchéité autour des déversoirs - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits
LOGEMENTS INDIVIDUELS	A,B,D,E,F,G	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - enlever la moisissure - vérifier le fonctionnement du climatiseur - vérifier le fonctionnement de l'humidificateur - nettoyer l'humidificateur - vérifier le ventilateur d'extraction de la salle de bain - nettoyer le ventilateur d'extraction de la salle de bain - installer un ventilateur d'extraction dans la salle de bain - vérifier le fonctionnement du réfrigérateur <ul style="list-style-type: none"> - déboucher le drain - jeter les aliments pourris - nettoyer

PISCINE	D,E,F,G	1,2,3 <ul style="list-style-type: none"> - enlever l'eau et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction
LOGEMENTS INDIVIDUELS ADJACENTS AU LOCAL DES ORDURES OU À LA BUANDERIE	A,B,F	1,2,3 <ul style="list-style-type: none"> - nettoyer et désinfecter les conteneurs - nettoyer et désinfecter les vide-ordures - nettoyer et désinfecter les pièces de chaque étage - installer des ferme-portes et des joints d'étanchéité autour des déversoirs - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction - enlever la moisissure et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier le raccord du conduit

			<p>d'évacuation de la sècheuse :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déboucher - nettoyer - raccorder de nouveau - sceller les conduits
LOGEMENTS INDIVIDUELS AUTOUR DES FENÊTRES	A,B,F	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - enlever la moisissure - calfeutrer le pourtour des fenêtres - vérifier l'étanchéité des murs extérieurs et étanchéifier au besoin
TOUT ENDROIT	K,J	4,8,9,10,11,12 13,14,15	<p>EFFECTUER LE TEST DU FORMALDÉHYDE</p> <ul style="list-style-type: none"> - enlever les matériaux dangereux, augmenter la ventilation pendant une semaine et effectuer de nouveaux prélèvements - appliquer une couche imperméable sur le bois aggloméré
TOUT ENDROIT	K,J,L	4,8,9,10,11,12 13,14,15	<p>EFFECTUER LE TEST DU FORMALDÉHYDE</p> <ul style="list-style-type: none"> - utiliser d'autres agents de nettoyage

PISCINE	D,E,F,G	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - enlever l'eau et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction
TOUT ENDROIT	J,M	4,8,9,10,11, 12,13,14,15	<p>EFFECTUER LE TEST DU FORMALDÉHYDE</p> <ul style="list-style-type: none"> - laisser les colles et les tapis sécher, accroître la ventilation pendant une semaine et effectuer de nouveaux prélèvements
TOUT ENDROIT	général	général	<ul style="list-style-type: none"> - réduire la température à 20 °C et l'humidité relative à 30 %
TOUT ENDROIT	N	4,6,9,10,11 12,13,16,17,18	<ul style="list-style-type: none"> - laisser la peinture sécher et accroître la ventilation pendant cette période
TOUT ENDROIT	J,P	4,6,9,10,11,12 13,16,17,18	<ul style="list-style-type: none"> - laisser les nouveaux produits de bâtiment sécher et augmenter la ventilation pendant cette période
TOUT ENDROIT	J,L,P	4,6,9,10,11,12 13,16,17,18	<ul style="list-style-type: none"> - utiliser d'autres produits nettoyeurs

<p>TOUT ENDROIT</p>	<p>général</p>	<p>général</p>	<p>- des échantillonnages complexes sont requis, communiquer avec son consultant</p>
<p>TOUT ENDROIT</p>	<p>H,I</p>	<p>1,2,3,4,5,6,7</p>	<p>- nettoyer les diffuseurs - nettoyer les filtres - installer des filtres - nettoyer les conduits - sceller les conduits - vérifier l'emplacement de l'entrée d'air</p> <ul style="list-style-type: none"> - à plus de 2 m du sol - à proximité de poussières - accumulation de saletés

PISCINE	D,E,F,G	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - enlever l'eau et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction
TOUT ENDROIT	H,I,J	1,2,3,4,5,6,7	<ul style="list-style-type: none"> - isoler la zone de construction - nettoyer les diffuseurs - nettoyer les filtres - installer des filtres - nettoyer les conduits - sceller les conduits - vérifier l'emplacement de l'entrée d'air <ul style="list-style-type: none"> - à plus de 2 m du sol - à proximité de poussières - accumulation de saletés
TOUT ENDROIT	AUCUNE	1,2,3,6	<ul style="list-style-type: none"> - installer des panneaux «défense de fumer» dans les aires communes
TOUT ENDROIT	général pour section précédente	général pour section préc.	<ul style="list-style-type: none"> - si les solutions précédentes ne donnent pas de bons résultats, des prélèvements s'imposent, téléphoner à son consultant
TOUT ENDROIT	F	8,10,16	<p>EFFECTUER LE TEST DES TUBES DÉTECTEURS</p> <ul style="list-style-type: none"> - vérifier l'emplacement de l'entrée

			<p>d'air et la déplacer si elle se trouve :</p> <ul style="list-style-type: none">- à moins de 2 m du sol- près de la circulation- près des conteneurs à déchets- près de l'entrée ou de la sortie du garage- près de la sortie d'air d'autres bâtiments <p>- vérifier la présence de saletés, de rongeurs et de nids dans les entrées d'air, les dégager, le cas échéant, et les protéger pour éviter que cela ne se reproduise</p>
--	--	--	--

PISCINE	D,E,F,G	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - enlever l'eau et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction
LOGEMENT INDIVIDUEL	F	8,10,16	<p>EFFECTUER LE TEST DES TUBES DÉTECTEURS</p> <ul style="list-style-type: none"> - vérifier le fonctionnement des appareils au gaz - les remplacer par des appareils électriques - vérifier le fonctionnement du ventilateur de la hotte - sceller les conduits du ventilateur de la hotte - installer une hotte - vérifier la présence de fenêtres ouvertes près : <ul style="list-style-type: none"> - de la circulation - des conteneurs à ordures - de l'entrée ou de la sortie du garage - de la sortie d'air d'un autre bâtiment

LOGEMENT INDIVIDUEL	Q	8,10,16	- augmenter le taux de ventilation
TOUT ENDROIT	AUCUNE	8,10,16	- EFFECTUER LE TEST DU TUBE DÉTECTEUR - vérifier le fonctionnement du système de ventilation du garage - installer un système de ventilation dans le garage - installer des détecteurs de gaz carbonique commandant les ventilateurs d'extraction
TOUT ENDROIT	R,S	8,10,16	- vérifier l'emplacement des entrées d'air par rapport aux meubles de l'occupant - réduire l'apport d'air conformément aux spécifications - l'installation peut nécessiter un équilibrage, appeler un consultant
CORRIDORS	R,S	8,10,16	- s'assurer que la trappe du vide sous toit et les portes des cages d'escalier sont fermées - réduire l'apport d'air selon les spécifications - l'installation peut nécessiter un équilibrage, appeler un consultant

PISCINE	D,E,F,G	1,2,3	<ul style="list-style-type: none"> - enlever l'eau et remplacer les matériaux endommagés - vérifier le fonctionnement du matériel - vérifier le réglage de l'humidité - installer un humidificateur - vérifier les ventilateurs d'extraction <ul style="list-style-type: none"> - mettre en marche - nettoyer - déboucher - sceller les conduits - installer des ventilateurs d'extraction
TOUT ENDROIT	F,T	8,10,16	<ul style="list-style-type: none"> - augmenter l'apport ou l'échange d'air - possibilités d'obstruction dans les conduits et les diffuseurs, les dégager - vérifier les raccords des conduits vers le garage et la salle à ordures prévus dans les plans et modifier au besoin
LOGEMENT INDIVIDUEL	F,T	8,10,16	<ul style="list-style-type: none"> - vérifier les obstructions, la saleté et les raccords de la hotte - installer une hotte - nettoyer les filtres à air - installer des filtres à air - vérifier la pression dans les corridors - ouvrir les fenêtres

LÉGENDE

SYMPTÔMES		OBSERVATIONS	
1	sécheresse des yeux	A	fongus
2	sécheresse du nez	B	moisissure
3	sécheresse de la gorge	C	dépôt visqueux
4	toux	D	taches humides
5	éternuements	E	inondation
6	allergie respiratoire	F	odeur
7	allergies pendant la pollinisation	G	flaques d'eau
	problèmes respiratoires	H	saleté autour des diffuseurs
8	irritation (yeux, nez, gorge)		
9	maux de tête	I	poussière de craie autour des diffuseurs
	fatigue		
10	nausées	J	construction, rénovation
11	irritation de la peau		
12	palpitations	K	nouveaux meubles
13	douleurs à la poitrine	L	entreposage ou application de produits de nettoyage
14	faiblesse		
15	yeux humides	M	nettoyage à la vapeur
16	vue brouillée	N	nouvelle peinture
17		P	nouveaux produits (de scellement) de bâtiment
18		Q	manque d'air
		R	endroits froids/chauds
		S	courants d'air
		T	air vicié

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1 Conclusions

Comme nous l'avons souligné dans l'introduction, la recherche visait à constituer un outil permettant de déterminer les problèmes potentiels de la qualité de l'air intérieur et un ensemble de solutions. La résolution plus rapide, plus efficace et moins coûteuse de ces problèmes améliorera la qualité de vie des locataires et des propriétaires.

Conformément à la recherche menée sur la qualité de l'air dans les tours d'habitation et à son adaptation ultérieure au système **EXPAIR**, voici nos conclusions :

- . Les problèmes et les solutions liés à la qualité de l'air dans les tours d'habitation ont été intégrés avec succès dans un système expert élaboré à cette fin.
- . La quantité de renseignements contenus dans la base de connaissances est relativement petite comparativement à celle de la plupart des bases de connaissances. Par contre, l'information peut être facilement détaillée par des spécialistes en qualité de l'air.
- . On a élaboré le système expert en vue de permettre à l'utilisateur de corriger la base de connaissances et la logique et de les modifier au besoin.
- . De nouvelles bases de connaissances peuvent être appliquées à d'autres situations nécessitant des systèmes experts semblables à l'aide de la même interface fournie par **EXPAIR**.
- . Le système **EXPAIR** est un simple instrument, accessible par la plupart des utilisateurs d'ordinateur au moyen du système d'exploitation le plus connu, MS-DOS.

- La version actuelle d'**EXPAIR** offre une capacité d'expansion et une disponibilité des «fenêtres du matériel» dans tout le système.

Bien que ce travail ait été effectué pendant une période relativement courte et avec des fonds très limités, nous avons été en mesure de prouver qu'une base de connaissances sur la qualité de l'air intérieur et un système expert polyvalent peuvent être réalisés avec succès.

5.2 Recommandations

Voici nos recommandations visant à accroître la précision du système

EXPAIR :

- . Permettre aux experts ou aux consultants du domaine de la qualité de l'air intérieur d'utiliser le système et d'apporter leurs commentaires.
- . Offrir le système expert aux utilisateurs sur le terrain comme les maîtres d'ouvrage et les gestionnaires immobiliers.

Les données regroupées conformément aux exigences de la base de connaissances du système expert ne peuvent être complètes puisque les renseignements ne proviennent que de documents.

Compte tenu cependant du temps et du budget limités, nous croyons avoir élaboré un système efficace. Les possibilités d'adaptation à diverses situations et le potentiel d'expansion du système constituent certains de ses principaux avantages.