

## CHAPITRE 2

### OBJECTIFS DU PROJET ET MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, la méthodologie utilisée pour réaliser la présente recherche est expliquée. L'objectif de la présente recherche est tout d'abord défini et suivi de chacune des étapes de développement du projet ainsi que de leur justification.

#### 2.1. Objectif

L'informatique peut fournir aux ingénieurs un puissant outil centralisant les connaissances de conception préliminaire de bâtiment. Cette centralisation, allée à l'implémentation des connaissances facilitant leur utilisation, permettrait de réaliser une conception préliminaire réfléchie, et ce, même avec une expérience peu avancée du domaine. L'outil pourrait fournir des arguments pour motiver le choix d'un système structural plutôt qu'un autre, des matériaux, et des emplacements des éléments structuraux. L'outil informatique, qui renfermerait les connaissances structurales acquises des ingénieurs experts, pourrait faciliter leur utilisation et leur transmission entre les générations d'ingénieurs.

À partir de la revue de la littérature effectuée, il a été trouvé que l'interaction entre l'utilisateur et l'informatique est souvent négligée. Une ligne directrice pour le projet a donc été établie soit donner à l'utilisateur le contrôle des opérations tout au long du processus de conception. **Le but du présent projet de recherche est d'assister l'ingénieur durant sa conception, sans tenter de le remplacer, d'une manière interactive en lui fournissant des règles du pouce, des conseils et des évaluations rapides.**

Dans le cadre d'une maîtrise, il est illusoire de penser que l'on peut concevoir un système informatique qui peut prendre en compte toutes les variables avec lesquelles l'ingénieur doit travailler. C'est pourquoi, tel qu'expliqué à la prochaine sous-section, le présent projet de recherche sera relié à d'autres recherches.

La présente recherche se limitera donc à la conception de planchers, et ce, pour quelques systèmes seulement de façon à démontrer la faisabilité et l'applicabilité de l'approche. Ainsi, la première phase d'implémentation, présentée dans ce mémoire, se limitera à quelques systèmes structuraux horizontaux pour des bâtiments de faible et moyenne hauteur. « Les statistiques de la construction indiquent que 60% de l'aire de planchers commerciaux en Amérique du Nord se trouve dans des bâtiments de quatre étages ou moins. » (Conseil canadien du bois, 2002) et 94% de tous les bâtiments ont entre 1 et 3 étages (D.A. Fanella & Ghosh, 1993). De plus, l'importance accordée aux systèmes structuraux horizontaux peut être appuyée par le fait que les systèmes de planchers sont l'activité de construction la plus coûteuse en temps et activités, spécialement pour un bâtiment avec cadres rigides (Idrus & Newman, 2003). Ils représentent environ 85% des coûts de la structure d'un projet de construction de bâtiment de hauteur faible à moyenne (D.A. Fanella & Ghosh, 1993) où le système de résistance latérale ne domine pas la conception de la structure.

## **2.2. Projets de recherches reliés**

Le présent projet de recherche est fortement relié à quatre autres projets : StAr, EsQUIsE, SEED-Config et celui de Ramachandran. Ces quatre projets de recherche seront décrits ainsi que leur lien au présent projet de recherche.

### **2.2.1. StAr**

Le prototype StAr permet à l'ingénieur en structure de mettre en place les systèmes structuraux à l'intérieur d'un modèle architectural en trois dimensions (Mora et coll., 2006). L'*approche descendante* est utilisée, c'est-à-dire que l'ingénieur divise le bâtiment en volumes structuraux indépendants, qui sont ensuite divisés en zones structurales. Les zones structurales permettent de regrouper les parties de la structure qui sont affectées par les mêmes conditions architecturales : mêmes charges d'utilisation, possibilités de mettre des colonnes ou non, etc. Chacun des systèmes structuraux est décomposé en trois sous-systèmes qui sont les systèmes horizontaux, les systèmes verticaux de résistance aux charges de gravité, et les systèmes verticaux de résistance aux charges latérales. Par la suite, les sous-systèmes structuraux sont

définis davantage par leurs assemblages de cadres et de plancher. Pour finir, ces assemblages sont décomposés en éléments structuraux de base et en connexions.

StAr comporte deux composantes, la représentation de l'architecture du bâtiment et du système structural, et les algorithmes de synthèse. L'ingénieur spécifie à StAr les sous-systèmes structuraux et assemblages tout en les positionnant dans le modèle du bâtiment. Des algorithmes ont été créés de façon à pouvoir connecter les éléments entre eux, faciliter l'inspection de l'architecture du bâtiment (exemple : vérifiez la continuité des murs pertinents à la structure), réaliser la configuration du système structural à même l'architecture (exemple : chercher des supports verticaux) et la vérification des solutions structurales (exemple : l'ensemble complet de la descente des charges latérales et de gravité) (Mora et coll., 2006).

La génération des éléments structuraux tels colonnes et poutres se fait de façon semi-automatique. L'ingénieur doit spécifier les lignes d'axes structuraux du bâtiment, et ce, dans les deux directions principales d'un même volume structural indépendant. Ensuite, les colonnes sont générées aux croisements des axes structuraux si cette rencontre n'est pas à l'intérieur d'une zone « sans colonne » spécifiée par l'architecte. Les poutres sont générées entre chacune des colonnes, façon de faire aussi utilisée par Jain et coll. (1991).

StAr utilise, jusqu'à maintenant, une quantité limitée de connaissances en conception préliminaire de structures de bâtiments. L'ingénieur n'est actuellement pas assisté lorsqu'il fait le choix des systèmes structuraux et aucun prédimensionnement n'est fait pour les dimensions des poutres, dalles et autres éléments structuraux.

### **2.2.2. EsQUIsE**

Tout comme en conception structurale de bâtiment, le domaine de l'architecture est aussi pauvrement assisté lors de la conception préliminaire. EsQUIsE est un interpréteur géométrique d'une esquisse architecturale descriptive (Leclercq, 1999). L'interprétation se fait en temps réel afin de ne pas briser le flot de création de l'architecte. L'interaction homme-machine pour la réalisation d'esquisses a été trouvée

déficiente lorsqu'assurée par un clavier et une souris. C'est donc au moyen d'un crayon numérique que l'on trace des lignes sur une tablette numérique sur laquelle est projetée l'interface du prototype. L'esquisse étant une quantité impressionnante de points, une synthèse des données est faite. Plusieurs modules, sont nécessaires pour reconnaître l'esquisse dont un dictionnaire permettant de reconnaître certaines annotations faites par l'architecte.

À l'aide de l'interprétation faite de l'esquisse, EsQUIsE peut produire un modèle en deux dimensions et demie, car les murs sont générés par une extrusion du plan en deux dimensions. Ceci facilite la visualisation de la conception préliminaire du bâtiment autant pour l'architecte lui-même que pour le client. Le prototype produit une évaluation de l'efficacité énergétique de l'enveloppe du bâtiment donnant ainsi une indication rapide à l'architecte sur l'efficacité énergétique. Ceci permet au concepteur de faire immédiatement des changements s'ils s'imposent. D'autres modules d'analyse seront peut-être appelés à être ajoutés au prototype dans le but de fournir davantage d'informations préliminaires sur le bâtiment en conception (Leclercq, 1999).

### **2.2.3. SEED-Config**

Les nœuds décisionnels qui sont utilisés dans le présent projet de recherche sont inspirés des nœuds technologiques développés pour SEED-Config.

Le besoin d'un moteur d'inférence (comme pour un système expert) est supprimé, car l'utilisateur contrôle quelles règles applicables sont sélectionnées pour les changements à la conception. Les relations inverses sont permises de façon à ce que l'utilisateur puisse spécifier un élément de la conception en aval sans avoir à spécifier les nœuds en amont menant à cet élément de la conception (Rivard & Fenves, 2000).

Un nœud technologique a trois fonctions principales :

1. Spécification des prédécesseurs : Indique quels nœuds doivent être actifs pour que le nœud actuel puisse être activé.
2. L'applicabilité du nœud : Cette fonction observe le contexte de conception et vérifie si le nœud est applicable dans une telle situation.

3. La spécification de l'action : Décrit et réalise l'action qui doit être prise lorsque les conditions 1 et 2 sont satisfaites.

Des efforts ont été consacrés afin que les nœuds soient dynamiquement définissables de manière à permettre à l'ingénieur utilisateur d'ajouter de nouvelles options.

Trois modes de conception sont possibles :

1. Mode sélectif : Le designer sélectionne un nœud technologique n'importe où dans la hiérarchie (utile lorsque l'utilisateur a une bonne idée de ce qu'il veut).
2. Mode itératif : Le designer est mis au courant des nœuds applicables au fur et à mesure que la conception avance.
3. Mode automatique : Tous les cheminements possibles sont créés à partir de restrictions données par le concepteur. Il choisit ensuite la conception la plus appropriée.

#### **2.2.4. Ramachandran**

Ramachandran (2004) a proposé un système expert qui n'aide pas à la conception préliminaire de structures, mais bien à celle de l'enveloppe d'un bâtiment. Préconisant l'élimination du moteur d'inférence, il donne à l'utilisateur tout le contrôle. Il a aussi développé une interface usager dont les idées directrices pourraient s'appliquer au domaine de la conception structurale. À l'aide d'un arbre de décision, la conception de l'enveloppe s'effectue en apportant à l'utilisateur une assistance qui, basée sur des connaissances et normes, donne des conseils sur l'utilisation de certaines composantes de l'enveloppe et évalue aussi la conception en fonction de paramètres tels la stabilité structurale, la valeur de déperdition de chaleur, etc. L'interface usager développée est intéressante dû au fait qu'elle regroupe, sous une même vue, la définition du problème, les suggestions basées sur les connaissances, l'arbre de décision, l'historique des décisions, la génération et l'évaluation d'alternatives, la configuration des couches de l'enveloppe et la spécification des matériaux, une vue graphique de la conception, l'évaluation de la conception, les propriétés des matériaux, et le modèle analytique. Cette façon de faire permet à l'utilisateur d'avoir bien en vue toutes les facettes de la conception et lui rend aussi le contrôle des activités de

conception. C'est pourquoi l'interface développée sera inspirée de celle présentée par Ramachandran.

### 2.3. Approche adoptée

Dans cette sous-section, l'approche adoptée pour le module de gestion des connaissances (DKM), principal objet de cette recherche, sera expliquée.

Une multitude de méthodes de raisonnement ont été mises de l'avant afin d'assister la conception préliminaire tel que vu à la section 1.5. Chacun des types de raisonnement utilise un type de connaissance particulier amenant à des résultats variables. De plus, un élément important à considérer est l'interaction avec l'utilisateur, car cette facette de l'assistance à la conception préliminaire semble avoir été hautement négligée, souvent au profit d'une automatisation.

Tel que décrit à la sous-section 1.6, les systèmes experts utilisent les règles avec une *partie gauche* et *droite* pour l'implémentation des connaissances. L'utilisation de règles est adoptée pour ce prototype, mais cette fois sans le moteur d'inférence qui rend l'ajout de connaissances difficile et le processus de raisonnement pratiquement automatique. L'utilisation de règles avec *parties gauches* et *droites* facilite l'exploitation du savoir des experts. Lors de la conception préliminaire, plusieurs paramètres doivent être présumés afin de pouvoir évaluer une première solution de conception.

La représentation des connaissances est très importante pour un outil de conception préliminaire de structure. Il faut s'assurer que les connaissances utilisées sont transparentes pour l'utilisateur, de façon à ce qu'il puisse juger de la pertinence de l'application de celles-ci. La représentation des connaissances privilégiée dans la présente recherche s'inspire grandement des nœuds technologiques (ou options de conception) développés dans l'approche BENT, « Building Entity and Technology » (Fenves et coll., 2000; Gomez, 1998). Cette façon de faire permet le raisonnement à différents niveaux d'abstractions, soit les volumes structuraux indépendants (ISV), les zones structurales, les sous-systèmes structuraux, les assemblages structuraux et les éléments structuraux de base. L'*approche descendante* sera utilisée afin de respecter

le raisonnement à ces divers niveaux d'abstractions qui ressemble davantage au raisonnement effectué par les ingénieurs praticiens, contrairement à l'*approche ascendante* préconisée dans les logiciels d'analyse actuels.

Le raisonnement s'effectue en fonction des choix effectués par l'utilisateur, il a le contrôle sur toutes les étapes de conception. L'assistance est apportée à l'aide de suggestions et d'évaluations basées sur les connaissances. Cette façon de faire met le concepteur en confiance, lui laisse la possibilité de ne pas considérer les suggestions et évaluations effectuées. L'approche de l'arbre de nœuds technologiques (appelés ici nœuds décisionnels) facilite l'exploration rapide d'options. Il est aussi possible de tenir compte des connaissances qu'un ingénieur expert utilise, contrairement au raisonnement à l'aide de la *logique formelle*, raisonnement à partir des lois de la physique et l'algorithme génétique. Les connaissances implémentées dans les nœuds technologiques sont sous la forme de règles, méthode propre aux systèmes experts. Un nœud décisionnel contient l'information d'un élément structural, il est donc possible d'ajouter un élément sans faire de modifications aux autres nœuds, facilitant ainsi l'ajout de technologies et de connaissances.

L'assistance de l'ingénieur est possible à travers les décisions prises à chacun des niveaux d'abstraction du bâtiment. L'interaction avec l'utilisateur étant une facette très négligée dans les recherches précédentes, il faut établir comment l'utilisateur peut être assisté à travers chacune des étapes de conception. L'interaction avec l'architecture est assurée par le raisonnement géométrique fourni avec le modèle 3D, créé dans StAr (Mora et coll., 2006), regroupant le modèle architectural et le modèle structural tel qu'expliqué à la sous-section 2.2.1. L'utilisation de ces arbres de décision facilite le retour en arrière de façon à pouvoir faire de nouveaux choix de conception, tout en conservant les décisions prises à des niveaux supérieurs de l'arbre.

La conception intégrée est une nouvelle philosophie de conception qui vise à mettre en contact tous les intervenants d'un projet le plus tôt possible dans le processus de conception. Ainsi, la création d'un environnement de design intégré est essentielle si l'on veut pouvoir assister le travail de l'ingénieur en structure puisque c'est dans ce

nouveau contexte qu'il devra éventuellement évoluer. Toutefois, il ne sera pas possible de développer ici tous les modules d'un tel environnement. Cependant, le concept structural est défini tôt dans le processus de conception d'un bâtiment et la structure du bâtiment peut influencer la conception architecturale à plusieurs niveaux. Ainsi, il pourrait être préférable de fournir à l'architecte une évaluation des possibilités structurales du bâtiment afin qu'il puisse tenir compte des contraintes que pourrait imposer la structure.

Une interaction entre le prototype EsQUISE (Leclercq & Juchmes, 2002) et StAr (Mora et coll., 2005) pourra offrir la base pour permettre une première interaction entre intervenants. Cette interaction pourrait être bénéfique autant pour l'architecte que pour l'ingénieur. En effet, le résultat final de la conception du bâtiment intégrerait probablement mieux la structure et l'ingénieur aurait peut-être moins de difficultés à réaliser la conception de la structure.

Finalement, le contexte global dans lequel le module de gestion des connaissances évolue, montré à la figure 7 peut être décrit ainsi : le modèle 3D est fourni à StAr à partir d'un outil de modélisation 3D ou à partir d'une esquisse qui serait interprétée par EsQUISE qui en ferait un modèle 3D. Ensuite, StAr permet à l'ingénieur de définir les entités structurales et de raisonner géométriquement. StAr communique avec le module de gestion des connaissances (DKM) afin de fournir à l'ingénieur les connaissances en conception préliminaire. Finalement, le modèle 3D de la structure pourrait éventuellement être transféré aux logiciels d'analyses présentement utilisés sur le marché de façon à pouvoir analyser précisément la structure et l'optimiser.

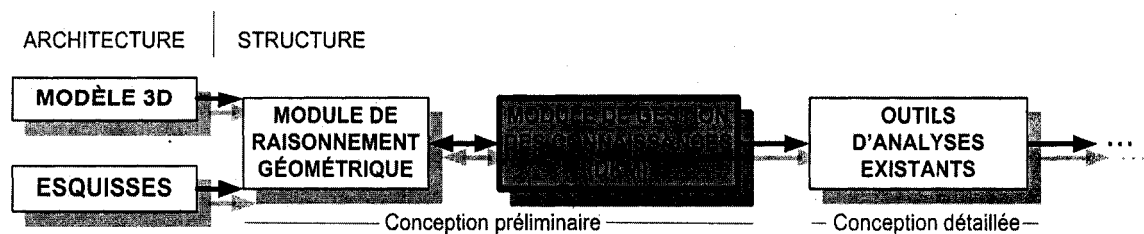


Figure 7 Contexte global de la recherche entourant le DKM



## **2.4. Étapes de développement du projet**

La présente recherche comporte les étapes suivantes : (1) développement de la base de connaissances, (2) modélisation des connaissances, (3) définition des caractéristiques du prototype en fonction du processus de conception, (4) implémentation des connaissances, (5) évaluation et tests du prototype. Toutes ces étapes seront expliquées ci-dessous.

### **2.4.1. Développement de la base de connaissance**

Le développement de la base de connaissance comporte deux volets. Premièrement, une recherche doit être faite pour obtenir les connaissances permettant le choix entre les différents types de structures mis à la disposition d'un concepteur. La base de connaissances en conception préliminaire de bâtiment pourra contenir des connaissances très diversifiées. Toutefois, dans le cadre d'un mémoire, il sera nécessaire de se limiter à une certaine partie seulement des étapes de la conception préliminaire. Ainsi, les connaissances sont recherchées pour les décisions structurales globales telles que le choix des matériaux, et la séparation du bâtiment en volumes structuraux indépendant. De plus, les connaissances nécessaires à la conception des sous-systèmes horizontaux (planchers) seront aussi visées.

Deuxièmement, les connaissances doivent être organisées de façon à faciliter leur implémentation tout en pouvant être présentées sous une forme acceptable dans un contexte de mise en forme officielle. Les connaissances doivent être regroupées en fonction des étapes de conception du processus de conception préliminaire qui sera expliqué à la sous-section 3.3.

### **2.4.2. Modélisation des connaissances**

Les connaissances doivent être modélisées de façon à permettre leur implémentation. Pour ce faire, une analyse des connaissances disponibles doit être faite. Ensuite, elles doivent être organisées de façon à pouvoir être utilisées par l'ingénieur de façon simple et rapide.

### **2.4.3. Définition des caractéristiques du prototype en fonction du processus de des conception**

L'assistance qui peut être apportée par le logiciel à l'ingénieur doit être définie en fonction de chacune des étapes du processus de design. Pour ce faire, une session de design typique peut être faite à l'aide d'un scénarimage<sup>5</sup>. Ainsi, pour chacune des étapes, l'assistance à l'ingénieur pourra être définie. Les caractéristiques du prototype découleront de l'assistance à l'ingénieur prévue.

### **2.4.4. Implémentation des connaissances**

« Il a souvent été dit qu'une personne ne comprend pas réellement quelque chose tant qu'elle ne l'a pas montré à quelqu'un d'autre. Maintenant, une personne ne comprend pas réellement tant qu'elle ne peut le montrer à un ordinateur. »<sup>6</sup> (Dym & Levitt, 1991)

Pour démontrer l'approche générale adoptée et pour s'assurer que des connaissances en conception préliminaire sont programmables et utiles à l'ingénieur, un prototype est développé.

Pour l'implémentation des connaissances, il est nécessaire de connaître un langage de programmation approprié. Le langage JAVA est utilisé pour cette recherche. L'architecture globale du système doit être définie. L'architecture devra tenir compte de l'interaction future avec le module de raisonnement géométrique. L'acquisition des moyens informatiques doit ensuite être faite. Une coquille de chacune des classes qui sera nécessaire à son implémentation doit être réalisée préalablement à son implémentation. Finalement, les connaissances pertinentes à la définition des sous-systèmes horizontaux sont implémentées à partir des classes initiales.

---

<sup>5</sup> Série de dessins comparable à une bande dessinée [...] Anglais : Storyboard (Office de la langue française, 2005).

<sup>6</sup> Traduction libre.

#### **2.4.5. Évaluation et tests du prototype**

Plusieurs alternatives pour la réalisation de tests et d'évaluation peuvent être envisagées. Toutefois, étant donné que le présent prototype contient un domaine d'application restreint aux connaissances implémentées, il est plus facile de simuler une conception de structures de bâtiment. Éventuellement, lorsque les connaissances implémentées couvriront la majorité des systèmes structuraux possibles, il sera envisageable de faire une validation par des praticiens en situation réelle de conception.

Dans cette recherche, l'évaluation sera réalisée à partir de l'avis de chercheurs externes au projet de recherche et de l'avis de praticiens ayant assisté à une démonstration. L'évaluation et les tests du prototype sont donc réalisés par la présentation de celui-ci à une conférence internationale et d'autres présentations non officielles, destinées aux chercheurs. De plus, afin de recueillir l'avis de praticiens, une autre présentation sera faite aux fins de discussions.

#### **2.5. Justification de la méthodologie**

La méthodologie adoptée et décrite dans la section précédente s'appuie sur une méthodologie bien établie en génie logiciel (Quatrani, 1998). Cette méthodologie comporte quatre étapes orientées sur le processus du projet. Chacune de ces étapes est liée à celles du développement du présent projet de recherche :

1. La capture des exigences : Une narration de ce que le système devrait pouvoir faire;
2. L'analyse et le design : Une description de la façon dont le système sera réalisé durant la phase d'implémentation;
3. Implémentation : La production de code qui résulte en un système exécutable;
4. Test : La vérification du système complet.

Chacune des quatre étapes mentionnées ci-haut correspond aux étapes de développement du présent projet de recherche (sous-section 2.4). La capture des exigences correspond à la définition des caractéristiques du prototype et est discutée dans le chapitre 4 intitulé « Spécifications et conception d'un outil d'aide à la

conception ». L'assistance envisagée y est présentée pour toutes les étapes du processus de conception préliminaire. L'analyse et le design ainsi que l'implémentation, correspondant à l'étape de l'implémentation des connaissances, sont présentés dans le chapitre 5 intitulé « Implémentation du prototype » suivi par les détails relatifs à l'implémentation. Le chapitre 6 présentera le manuel de l'utilisateur et une session de design typique. Les tests, correspondants à l'étape d'évaluation et tests du prototype, sont présentés dans le chapitre 7 intitulé « Validation du prototype » qui fera état de la validation effectuée sur le prototype. Le chapitre 8 présentera un sommaire du mémoire et identifiera clairement quelles sont les contributions apportées et indiquera quels pourraient être les travaux de recherche futurs pouvant faire suite à ceux réalisés au cours de ce mémoire.