

## CHAPITRE 3

### ACQUISITION DE CONNAISSANCES EN CONCEPTION PRÉLIMINAIRE DE STRUCTURES DE BÂTIMENTS

Le présent chapitre présente les types de documents utilisés pour l'acquisition de connaissances ainsi que les moyens utilisés pour compléter la base de connaissances. Un diagramme représentant le processus de conception préliminaire de bâtiments est présenté et sa validation est aussi expliquée. Un extrait de la base de connaissance est présenté et fourni en annexe 2.

#### 3.1. But de l'acquisition de connaissances en conception préliminaire de bâtiments

Les connaissances recherchées sont dispersées à travers de multiples documents qui abordent la conception préliminaire de bâtiments. Afin de permettre l'implémentation de ces connaissances, il est nécessaire de faire l'inventaire des connaissances qu'il est possible d'utiliser pour assister l'utilisateur à travers tout le processus de conception préliminaire. De même, il est nécessaire de regrouper les connaissances en fonction de leur implémentation.

Une base de connaissances complète, couvrant tous les aspects de la conception préliminaire, n'est toutefois pas disponible dans la littérature, quoique quelques ouvrages se soient démarqués par leur qualité. L'acquisition d'une base de connaissances en conception préliminaire de structures de bâtiments est donc nécessaire pour permettre la réalisation d'une étude sur l'assistance de l'ingénieur à travers les étapes de conception préliminaire de même que pour la réalisation d'un prototype en ce domaine.

#### 3.2. Sources utilisées pour l'acquisition de connaissances en conception préliminaire de bâtiments

Les connaissances structurales recherchées sont celles permettant de réaliser la conception préliminaire d'une structure ainsi que le prédimensionnement des éléments structuraux. La conception préliminaire peut souvent être guidée par des principes

généraux tandis que le prédimensionnement des éléments structuraux utilise davantage les règles du pouce utilisées par les experts.

La recherche de connaissances en conception préliminaire est une tâche difficile par le fait que ces connaissances ne sont habituellement pas clairement définies et peu disponibles dans la littérature. Différents projets de recherche ont eu pour but de rechercher des connaissances utilisées tôt dans le processus de conception de structures. Toutefois, ces projets de recherche ont porté sur divers types de structures et sur différentes facettes de la conception préliminaire. Divers moyens ont été utilisés : revue de la littérature disponible sur la conception de structure, entrevues personnelles avec des experts du milieu, observation d'experts réalisant une conception préliminaire (Lecomte, 2003; Meniru et coll., 2003), expérience personnelle des auteurs (Dekker, 2000; Korman et coll., 2003), observation d'experts lors de réunion avec d'autres professionnels. Dans le cadre de cette recherche, seule l'observation d'experts lors de réunion avec d'autres professionnels n'a pas été réalisée faute d'opportunité.

Différentes sources documentaires ont dû être utilisées pour réaliser une base de connaissances qui soit la plus complète que possible. Divers ouvrages se sont particulièrement distingués pour leur grande qualité. Parmi ceux-ci, il est important de mentionner les livres « Structures » de Schodek (2004), « Structural concepts and systems for architects and engineers » de Lin et Stotesbury (1988), « Building structures » de Ambrose (1993) et « Reinforced concrete preliminary design for architects and builders » de Shaeffer (1992). Beaucoup d'autres livres ont été consultés pour constituer la base de connaissances et sont cités dans la liste des références.

Les différents manuels et codes fournis par les associations des différents matériaux tels bois (Conseil canadien du bois, 2001), acier (Institut canadien de la construction en acier, 2000) et béton (Association canadienne du ciment Portland, 1995) sont aussi une source d'informations importante. Des tableaux y donnant les résistances en flexion et en cisaillement pour différents types de sections disponibles sont présentés.

Outre les livres, il est possible d'accéder directement à partir de l'Internet à des documents divers rendus disponibles par différents auteurs. Il s'agit parfois de sites Internet d'associations vantant les mérites d'un matériau structural en particulier. Il est possible de retrouver sur ceux-ci des cas où le matériau a été utilisé avantageusement et aussi une série de critères qui pourraient faire pencher la balance pour l'utilisation de ce matériau. En d'autres occasions, il est possible d'accéder à des notes de cours en conception structurale réalisées par un ingénieur en structure. Ces notes de cours, souvent adressées à des étudiants en ingénierie, dressent parfois une série de règles du pouce qu'il est possible d'utiliser pour débiter un design structural. Plus rarement, il est possible d'accéder à des forums de discussions entre ingénieurs en structure desquels on peut tirer certaines connaissances en conception préliminaire (Biggs, 1996).

Des thèses sur le sujet de la conception préliminaire permettent d'extraire quelques connaissances. Toutefois, certaines thèses, telles que celle de Fischer (1991), fournissent une base de connaissances exhaustives. Divers rapports sont aussi commandés par des associations telles que celles de l'Association du ciment Portland donnant des lignes directrices pour le choix des sous-systèmes structuraux horizontaux (Association canadienne du ciment Portland, 2005; Fanella, 2000; Rogowsky & Gollcher, 2002).

Des documents audiovisuels peuvent aussi être utiles tels que celui consulté sur le choix des systèmes structuraux en acier réalisé par la Fondation pour la formation en charpente d'acier (1990).

Les fabricants publient aussi des documents qui peuvent servir à faire un choix entre plusieurs types de systèmes structuraux. C'est le cas notamment pour les fabricants d'éléments de béton préfabriqués (Consolis, 2003) ou encore pour les fabricants d'éléments d'acier (Canam - Poutrelles et tablier métallique, 2005; Canam - Solutions + Service, 2003).

Des revues professionnelles pertinentes à la conception de structures de bâtiments peuvent également être consultées. Elles renferment des connaissances qui peuvent être pertinentes à la conception préliminaire, notamment « Modern Steel Construction » (Fisher, 2005; Robert & David, 2006; Saunders, 2005).

Outre les documents précédemment décrits, il est possible de consulter des experts en conception structurale. Bien des connaissances sont utilisées par les experts de façon informelle. Ces experts, très occupés par leurs différents projets, n'ont souvent pas le temps et le désir de mettre toutes ces connaissances bout à bout afin d'en faire un recueil exhaustif. Divers moyens ont été utilisés par les chercheurs désireux de formaliser les connaissances d'experts utilisées lors d'une conception préliminaire : questionnaires, entrevues et observation directe d'expert.

Les questionnaires sont souvent utilisés pour obtenir des informations du milieu des praticiens, entre autres pour réaliser des études dans le domaine de la gestion de projet ainsi que pour certaines études en conception préliminaire de structures. Avec l'usage de questionnaires, il est difficile d'avoir des connaissances de façon détaillée sans avoir à faire un questionnaire très long qui a peu de chances d'être complété par les experts. Il s'avère aussi que cette méthode a le désavantage de ne pas avoir de contact direct avec l'expert (Fischer, 1991).

La réalisation d'entrevue permet un contact direct avec l'expert. Cette façon de faire permet de répondre à des questions précises qui peuvent être identifiées suite à une revue de la littérature disponible. Les interviews peuvent être la meilleure méthode à utiliser (Fischer, 1991).

Il peut toutefois être possible, dû au fait que c'est le chercheur qui guide l'interview, de ne pas cibler certaines connaissances importantes qui auraient pu être identifiées à l'aide d'une autre méthode de recherche des connaissances. Ce type d'entrevue est parfois complété par une seconde partie consistant à faire l'observation directe d'expert. Le processus de conception préliminaire de la structure a été analysé lors d'une étude réalisée sur trois experts (Lecomte, 2003). L'utilisation d'observations

directes a aussi été faite pour la conception préliminaire de l'architecture (Meniru et coll., 2003). D'autres projets de recherches ont aussi utilisé ce type d'observation dont Shea & Cagan (1999).

### **3.3. Processus de conception préliminaire de structures de bâtiments**

Un processus de conception préliminaire a été établi et validé par l'observation d'experts en situation de design. Le processus et la validation sont l'objet des prochaines sous-sections.

#### **3.3.1. Explication du processus de conception préliminaire**

Le processus de conception montré à la figure 8 a été établi à l'aide de la littérature et de l'expérience des chercheurs impliqués. C'est le processus qui correspond le mieux à celui suivi par les ingénieurs tôt en conception. Le processus comprend toutes les décisions importantes concernant la conception de la structure.

La première étape consiste à recueillir les informations de base sur le projet soit la localisation du bâtiment et la restriction de hauteur et autres. On fait l'hypothèse ici, qu'un minimum d'information architecturale est disponible; soit une esquisse architecturale ou des plans préliminaires.

La deuxième étape consiste à créer des volumes structuraux indépendants (ISV) si nécessaires. Il se pourrait qu'un bâtiment puisse avoir à contenir deux parties de bâtiment que l'on veut dissocier, comme dans le cas d'un bâtiment en L dont l'on voudrait améliorer le comportement sismique en dissociant l'aile formant le haut du L.

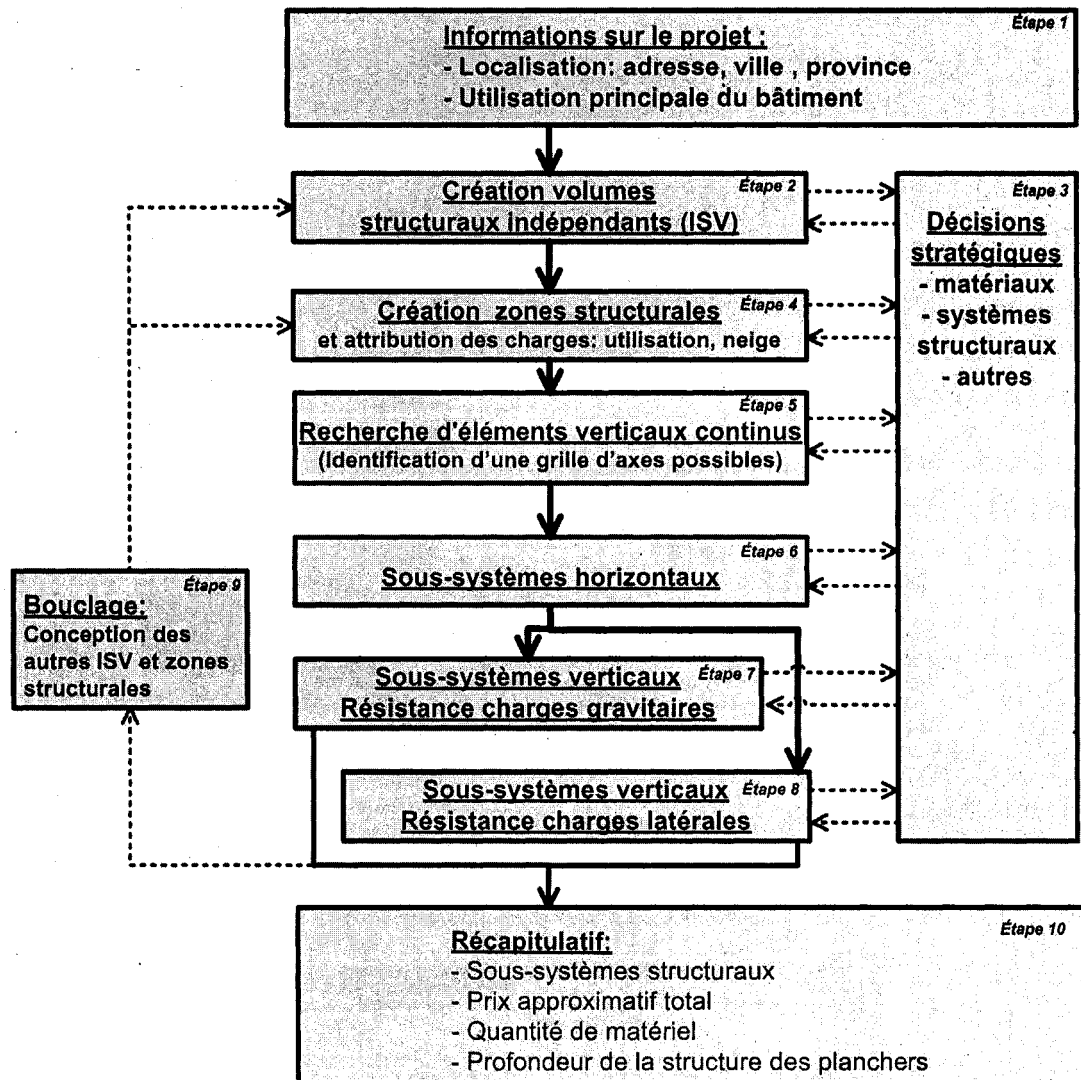


Figure 8 Processus de conception préliminaire de la structure

La troisième étape, en parallèle par rapport aux autres décisions, suppose qu'un ingénieur fait souvent des choix stratégiques, par rapport à : son expérience, ce qui est habituellement fait en fonction du type d'utilisation du bâtiment, la disponibilité des matériaux, la rapidité de construction, etc. Ainsi, à tout moment, l'ingénieur peut décider de faire des choix à un niveau stratégique, limitant ainsi l'espace solution.

La quatrième étape est la création de zones structurales incluant l'attribution des charges vives pour chacune des zones. Ces zones visent à former un regroupement

d'espaces architecturaux affectés des mêmes conditions telles charge vive, dimensions semblables de baies, profondeur de structure possible, etc.

La cinquième étape consiste en la recherche d'éléments verticaux continus à travers les étages de manière à assurer la descente des charges jusqu'aux fondations. En ayant en tête les éléments continus d'un étage à l'autre, et les successions d'espaces pouvant accueillir un élément structural vertical, l'ingénieur identifie des axes structuraux.

La sixième étape concerne le design des éléments horizontaux. Sur la base de la trame structurale identifiée, l'ingénieur peut évaluer plusieurs solutions, et ce, pour une même trame structurale.

Vient ensuite le design des éléments verticaux, à la septième et huitième étape, qui dépend grandement du poids propre des éléments horizontaux. Pour compléter la conception préliminaire du bâtiment, un bouclage doit être fait pour les autres zones structurales et ISV.

Finalement, la dixième étape consiste à faire le compte rendu du prix approximatif total, du poids sur chacune des colonnes (pour permettre la conception des fondations) ainsi que les profondeurs de structure nécessaires pour chacun des étages.

### **3.3.2. Validation du processus de conception préliminaire avec l'observation d'experts**

Une validation a été effectuée à l'aide d'interviews réalisées avec des experts lors d'un stage fait par l'auteur à l'été 2004. Les interviews avaient deux parties : l'observation de l'expert en situation de conception (45 minutes) et des questions directes (15 minutes). Durant la période de conception préliminaire, des plans préliminaires d'un futur pavillon universitaire, sur lesquels aucun ingénieur n'avait eu d'influence, ont été soumis à deux experts. Ils ont été filmés pendant qu'ils réalisaient la conception préliminaire et il leur a été demandé de dire tout haut ce à quoi ils pensaient, selon la méthode « Think

Aloud » (Atman et coll., 1999; Meniru et coll., 2003), de façon à pouvoir suivre leurs raisonnements.

Bien qu'il faudrait réaliser une multitude d'interviews avec différents types de bâtiments pour valider complètement le processus de conception préliminaire décrit, les observations faites durant la période de conception préliminaire ont permis de valider, d'une manière préliminaire, la plupart des étapes du processus telles que décrites dans le processus montré en figure 8.

À la demande des concepteurs, les interviews ont débuté par spécifier où était situé le bâtiment et quelle était sa vocation (Étape 1). Pour les bâtiments institutionnels, l'ingénieur s'attend à un bâtiment de bonne qualité et ils se sont ensuite questionnés sur les restrictions de hauteur. Dès lors, les concepteurs avaient une idée du type de structure à concevoir (Étape 3). Pour un bâtiment institutionnel, le béton est souvent utilisé, et en considérant les charges vives en fonction de l'usage, le système pour lequel les concepteurs optaient déjà à ce moment était une dalle de béton avec abaque. Ils voulaient toutefois évaluer d'autres possibilités afin de s'assurer d'avoir la structure la moins coûteuse et/ou la mieux adaptée. Le bâtiment présenté ne semblait pas requérir une division du bâtiment en ISV, et probablement pour cette raison, aucun commentaire n'a été fait à ce sujet (Étape 2). Le concept de zones structurales a d'abord été soulevé par le marquage, sur les plans, des zones se poursuivant sur plusieurs étages (Étape 4). Les charges ont été définies par la suite pour les zones qui n'étaient pas des zones de cours, soit la mécanique, gymnase, etc. Les étages supérieurs, affectés par plusieurs zones continues d'un étage à l'autre, ont été mis à part, ils auraient probablement une structure différente du reste du bâtiment. La recherche d'éléments verticaux continus (Étape 5) s'est faite en considérant tout d'abord les cages d'escalier et d'ascenseurs, pour se poursuivre avec les colonnes partant du sous-sol jusqu'aux étages supérieurs. Cette recherche s'est faite à l'aide de feuilles de papier-calque superposées alternativement sur les plans de chaque étage. La conception des éléments horizontaux s'est faite sur la base de la grille d'axe établie par l'architecte, et rapidement approuvée par l'ingénieur : une trame de 6 mètres par 9 mètres (Étape 6). Le concepteur débute par un dimensionnement rapide avec règles du



pouce pour établir la faisabilité d'une solution et poursuit ensuite avec une analyse plus précise avec un logiciel. Pour la conception des éléments verticaux, mis à part le positionnement approximatif des colonnes et l'identification des cages d'escaliers et ascenseurs comme dispositifs de résistance latérale, le concepteur n'en a pas fait le détail, par manque de temps et par le niveau d'avancement des plans qui ne le justifiait pas.

Toutes ces observations amènent à croire que le processus établi pourrait servir à assister l'utilisateur selon sa méthode habituelle de raisonnement et le processus établi est donc utilisé dans le cadre de cette recherche.

Il est important de noter qu'il peut être parfois difficile de s'assurer que les conditions de l'observation n'influent pas sur les résultats. En effet, le fait de filmer le professionnel, de le mettre dans un contexte artificiel, de lui demander de dire tout haut ce qu'il pense, de supposer que l'interviewer peut jouer un rôle tel que d'être le client, peut probablement perturber la façon de faire habituelle du professionnel. Similairement, si l'on voulait réaliser la même chose pour le processus suivi par un ingénieur, il pourrait être plus difficile pour l'interviewer d'être considéré comme l'architecte du projet. En effet, l'architecte a une certaine idée en tête qui peut ne pas être clairement définie sur des dessins préliminaires. Cette mise en vase clos de l'ingénieur, pour réaliser sa conception préliminaire, n'est peut-être pas souhaitable. Aussi, l'échelle des plans présentés peut aussi influencer le concepteur, car ils semblent utiliser habituellement une échelle de 1:100. S'ajoutant à cela, en fonction du degré de définition de la conception préliminaire voulue, les plans doivent être suffisamment détaillés pour montrer l'arrangement des cloisons afin de pouvoir disposer les colonnes et murs structuraux. Finalement, une vue en élévation de chacune des façades est préférable, car l'ingénieur les utilise pour déterminer les emplacements possibles de murs de contreventements dans les murs extérieurs (Parent, 2004).

### **3.4. Base de connaissances en conception préliminaire de structures de bâtiments**

Un extrait de la base de connaissance constituée dans le cadre de cette recherche est présenté en annexe 2. Les sources utilisées sont celles décrites à la sous-section 3.2. Plusieurs documents non cités dans cette sous-section sont aussi utilisés et sont indiqués à chacune des connaissances présentées.

Les connaissances contiennent des règles du pouce ainsi qu'une grande quantité de lignes directrices et conseils concernant la conception préliminaire. Elles ont été retrouvées à travers toutes les sources utilisées. Les connaissances sont numérotées de façon à ce qu'il soit plus facile d'y référer dans les chapitres suivants.

Un exemple de règle du pouce et de conseil peut être présenté. Ainsi, une règle du pouce qui pourrait être utilisée pour la détermination de la profondeur approximative d'une poutrelle serait de diviser la portée de la poutrelle par 20. Cette valeur peut être retrouvée à partir d'un tableau de Schodek (2004) montré au Tableau VIII, page 167. Un conseil qui pourrait être fourni à l'ingénieur serait de considérer des baies de 9 × 12 mètres pour l'utilisation d'un système de poutrelles d'acier, car c'est ce qui est trouvé comme étant le plus économique selon Newman (1997).

Les connaissances sont présentées dans l'annexe 2 en fonction des étapes du processus de conception préliminaire de la figure 8. L'extrait de la base de connaissance présenté couvre les étapes 2 à 6. L'étape 6, concernant la conception des sous-systèmes horizontaux, est couverte partiellement. Seuls quelques sous-systèmes sont présentés. Ainsi, des connaissances donnent des conseils sur les stratégies à adopter en ce qui concerne les volumes structuraux indépendants, les zones structurales, les choix stratégiques, la recherche d'éléments verticaux continus et finalement la conception des éléments horizontaux. Les connaissances sont donc trouvées pour différents niveaux d'abstraction du modèle de bâtiment.

Les connaissances recueillies ont permis d'avoir une vue d'ensemble des connaissances qu'il pourrait être possible d'utiliser dans un logiciel visant à assister

l'ingénieur dans ses tâches de conception préliminaire. Dans le prochain chapitre, l'organisation de certaines des connaissances recueillies sous forme d'arbres de décisions est présentée.

[MCours.com](http://MCours.com)