

## CHAPITRE 4

### SPÉCIFICATIONS ET CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE À LA CONCEPTION

#### 4.1. Introduction

Dans les recherches précédentes, l'assistance variait énormément. Parfois l'assistance à la conception était une simple validation d'une conception que l'utilisateur réalisait seul. D'autres fois la conception était majoritairement faite de façon automatique. Il a rarement été décrit, dans la littérature, comment il serait possible d'assister un ingénieur réalisant une conception préliminaire tout en lui donnant le contrôle. Ainsi, rares sont les interfaces présentées qui considéraient une interaction constante avec l'utilisateur. Ce chapitre décrit comment il est possible de raisonner à partir des connaissances du type règle du pouce, de l'information provenant de fabricants d'éléments structuraux, des conseils généraux pour le choix des sous-systèmes structuraux et de leurs emplacements, etc. Une proposition d'interface est aussi présentée.

#### 4.2. Éléments essentiels à l'assistance apportée à l'utilisateur

Afin d'assister adéquatement l'utilisateur et de lui donner le contrôle lors de la conception, cinq moyens sont nécessaires :

1. Les connaissances doivent être modélisées de façon à être transparentes à l'utilisateur. Ceci explique l'utilisation des nœuds technologiques tels qu'expliqués à la sous-section 2.2.3 qui sont appelés ici nœuds décisionnels.
2. Les conseils généraux, très présents dans la littérature, doivent être présentés à l'utilisateur au moment opportun tout au long de la réalisation de la conception préliminaire.
3. Il doit être possible de guider l'utilisateur à travers les différentes étapes du processus et d'obtenir de l'information de sa part.
4. Il faut fournir la possibilité de revenir sur des décisions prises antérieurement, de changer ces décisions et de consulter les conseils qui avaient pu influencer sa décision à ce moment.
5. L'utilisateur doit aussi avoir une référence visuelle (3D) des éléments qu'il conçoit de façon à prendre des décisions réfléchies.

### **4.3. Type d'interaction souhaitée**

L'interaction entre l'utilisateur et le prototype doit être constante tout au long des étapes de conception de manière à ce que l'utilisateur ait vraiment le contrôle des opérations faites par le prototype. Ainsi, l'interaction doit être définie pour toutes les étapes du processus de conception préliminaire que l'ingénieur doit suivre pour arriver à réaliser une conception préliminaire.

### **4.4. Outils utilisés pour l'interaction avec l'utilisateur**

Afin de pouvoir donner le contrôle des opérations à l'utilisateur, les fonctions fournies doivent respecter le processus habituellement suivi par un ingénieur. Pour ce faire, différents diagrammes et arbres de décisions interactifs sont mis à la disposition de l'utilisateur.

#### **4.4.1. Processus de conception préliminaire**

Le processus expliqué à la sous-section 3.2 (Voir figure 8) pourrait être utilisé pour interagir avec l'utilisateur. Ainsi, l'ingénieur pourrait avoir accès à chacune des étapes nécessaires pour compléter les étapes de conception préliminaire à partir de ce seul diagramme.

#### **4.4.2. Utilisation des arbres de décisions**

L'utilisation des arbres de décisions, inspirés de Fenves et coll. (2000), permet de donner le contrôle à l'utilisateur tout en l'assistant à travers chacune des étapes de conception. De plus, la conception est une série d'itérations menant à trouver une gamme de solutions possibles. Ainsi, il est nécessaire de pouvoir permettre le retour en arrière sur des décisions prises à des niveaux d'abstractions différents, ce que permettent les arbres de décisions.

Les arbres de décisions développés par Gomez et Fenves ont essentiellement le même aspect (Voir figure 9). Ils rappellent grandement un arbre allant de ses racines à ses feuilles.

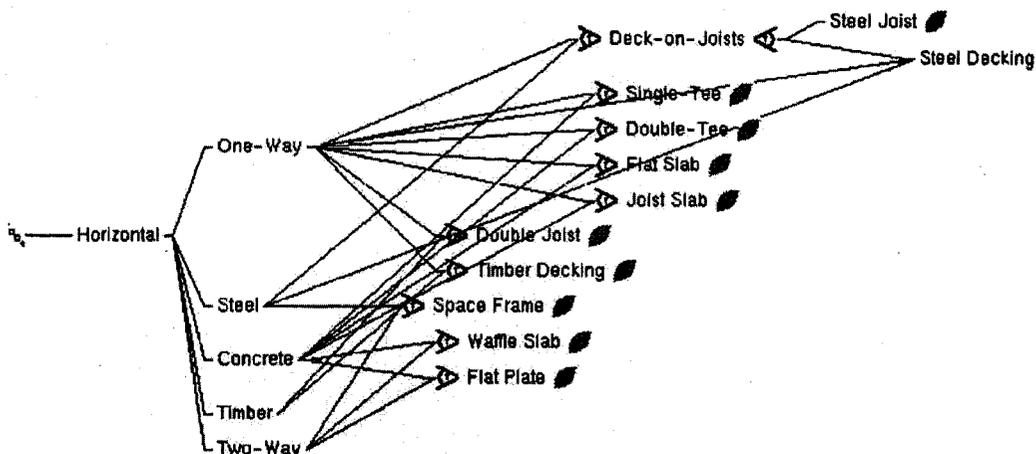


Figure 9 Arbre de décision développé par Gomez (1998) pour le choix des sous-systèmes structuraux horizontaux

La façon de disposer les éléments composants l'arbre de décision peut parfois s'avérer peu efficace lorsque plusieurs choix simultanés sont possibles. De plus, l'utilisation d'images pour chacun des sous-systèmes facilite l'utilisation du logiciel, mais rend encore plus difficile l'affichage de tous les sous-systèmes horizontaux. Les premiers essais de réalisation d'arbre de décisions ont montré qu'il n'était pas possible d'afficher clairement tous les types de sous-systèmes avec un arbre de décision conventionnel. Ainsi, après avoir essayé par divers moyens de tout montrer les sous-systèmes clairement par l'approche de l'arbre conventionnel, une nouvelle disposition circulaire a été adoptée.

Un exemple d'arbre de décisions sous forme de cercle a été élaboré pour permettre le choix des sous-systèmes structuraux. Des images de chacun des sous-systèmes ont été recueillies de différentes sources et adaptées de manière à ce que la présentation soit semblable. Cet arbre de décision est présenté à la figure 10 et en agrandi à l'annexe 3. De cette façon, les sous-systèmes structuraux peuvent être montrés en un clin d'œil.

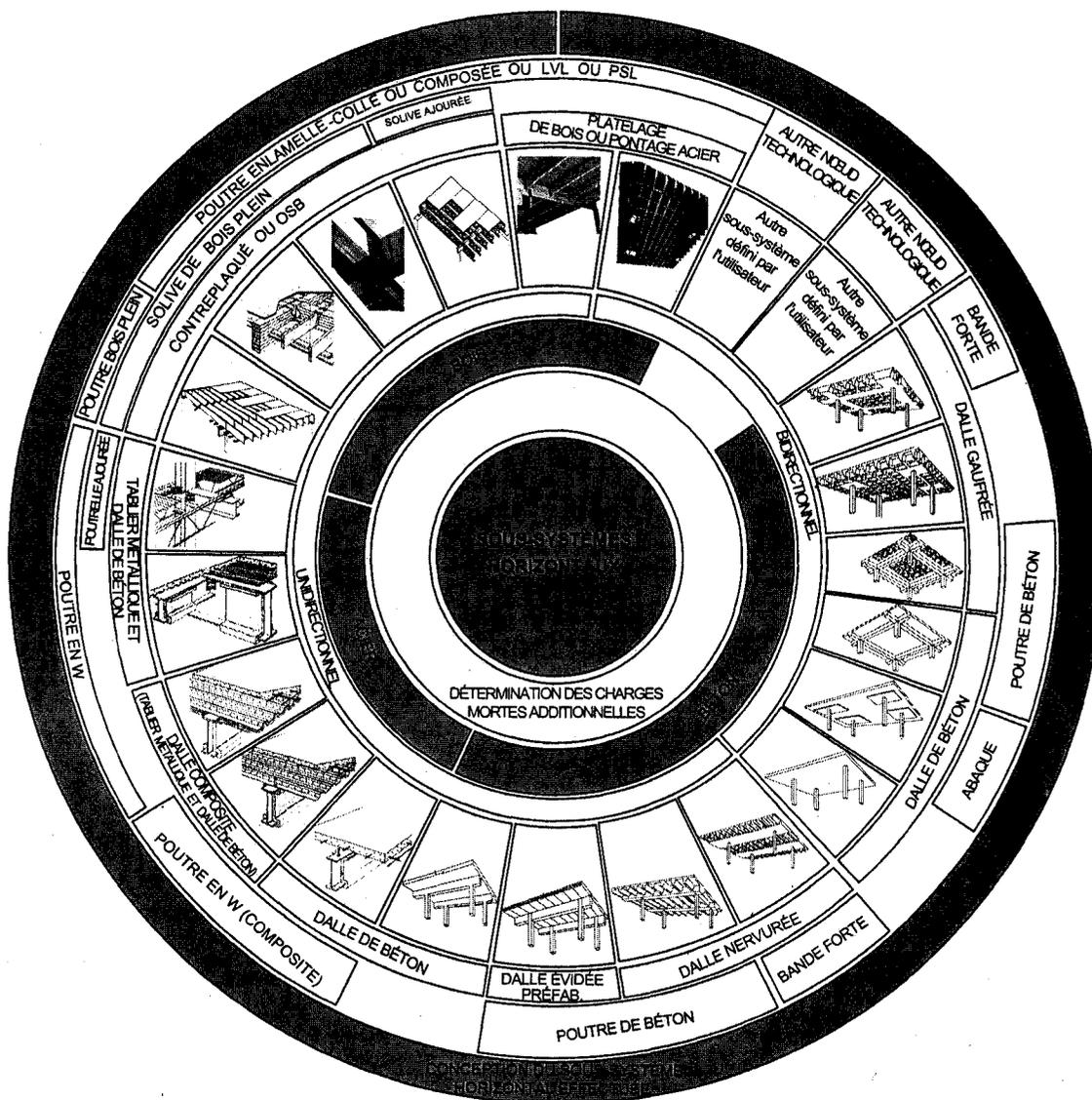


Figure 10 Arbre circulaire de décision amenant au choix des sous-systèmes horizontaux<sup>7</sup>

L'utilisateur peut utiliser cet arbre de décision sous forme de cercle afin de faire des choix préliminaires sur les sous-systèmes structuraux horizontaux. Chaque nœud

<sup>7</sup> Images des sous-systèmes tirées de R.S. Means Company (2005), Goodchild (1997) et Conseil Canadien du bois (2001)

décisionnel encapsule les connaissances et attributs relatifs à la structure du bâtiment. En partant du centre vers l'extérieur, l'utilisateur est appelé à définir tout d'abord les charges mortes du bâtiment. Il doit déterminer vers quels matériaux il désire orienter sa recherche. Finalement, le choix du type de redistribution de la charge doit être préalablement fait pour choisir quel est le type de système qu'il voudra ensuite détailler (c.-à-d. unidirectionnel vs bidirectionnel). Il sera expliqué plus loin comment ces arbres de décisions seront intégrés pour assister l'ingénieur dans sa conception.

Un autre exemple d'arbre de décisions peut être utilisé pour le choix du système de résistance aux charges de gravité et aux charges latérales. Premièrement, il faut spécifier quel type de résistance est recherché (une solution doit être trouvée pour chacune des résistances, soit de gravité et latérale). En fonction du matériau principal utilisé pour les systèmes horizontaux (afin d'assurer la compatibilité des systèmes structuraux horizontaux et verticaux), les différents sous-systèmes verticaux sont présentés. Ensuite, il est nécessaire de calculer la charge sur les éléments horizontaux afin de pouvoir réaliser le prédimensionnement. Finalement, il faut vérifier que le diaphragme nécessaire pour la transmission des charges latérales aux éléments de résistance latérale, est suffisant.

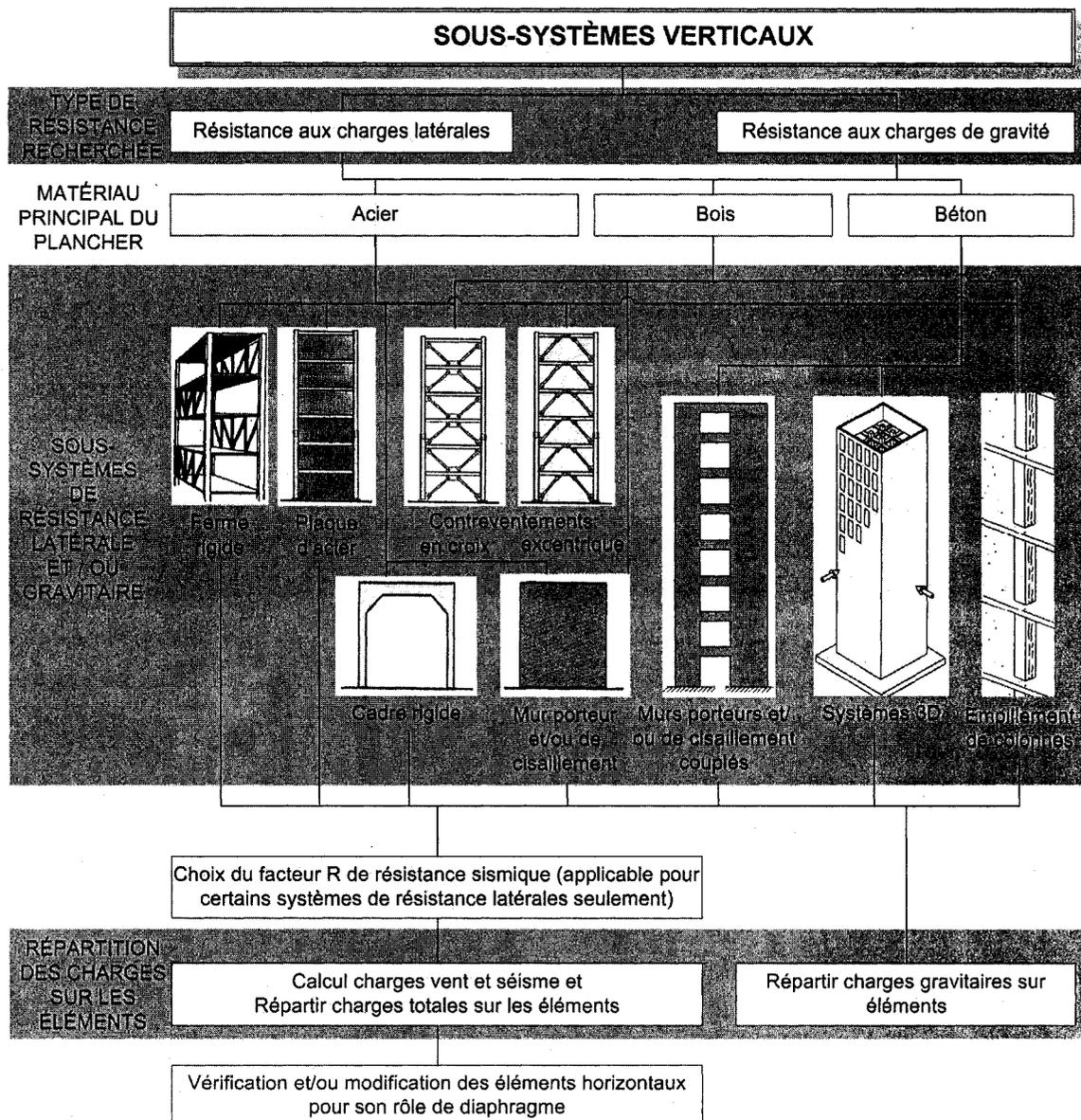


Figure 11 Arbre de décisions pour le choix des sous-systèmes verticaux<sup>8</sup>

Ensuite, pour concevoir les détails relatifs à chacun des types de systèmes structuraux de plancher, un autre arbre de décisions, composé d'une série de nœuds décisionnels,

<sup>8</sup> Images des sous-systèmes tirées de Tremblay et Mitchell (2005), Schodek (2004) et Scalzi (1971).

sert à définir chacun des éléments de base du sous-système horizontal (Voir figures 12, 13 et 14). Ces arbres de décision ont été construits en se basant sur les connaissances acquises présentées dans l'annexe 2. Chacune des décisions présentées est nécessaire pour la définition complète du système.

Pour le sous-système de dalle de béton reposant sur un tablier métallique supporté par des poutrelles ajourées d'acier et des poutres en I, il est possible d'identifier le type de béton, la profondeur et l'épaisseur du tablier métallique, l'épaisseur de la dalle de béton, l'espacement des poutrelles, le treillis, et finalement la profondeur de la poutrelle. Tout au long du processus, l'utilisateur est assisté par des conseils et chaque nœud vérifie s'il est applicable en fonction des choix précédents. L'ordre des décisions prises est important puisque certaines servent aux autres décisions prises subséquemment. Par exemple, il n'est pas possible d'utiliser du béton de faible densité, selon les tables de Canam (2005) avec une profondeur de tablier de 14 mm. De plus, quoique les décisions pourraient être prises en parallèle, il est plus logique de sélectionner la résistance finale du couple dalle de béton/tablier métallique après avoir déterminé l'espacement des poutrelles. Cette façon de faire permet de ne pas utiliser un treillis métallique donnant un surplus de résistance non nécessaire.

Pour le sous-système de dalle plate de béton avec abaque, un nombre plus limité de décisions sont nécessaires. Les connaissances pouvant être consultées à ce sujet relèvent davantage de règles du pouce que de valeurs exactes de résistance. Pour obtenir une estimation du coût pour un système en acier, il est nécessaire d'avoir le poids d'acier utilisé, ce qui n'est possible qu'en consultant des tables, donnant les résistances précises des éléments d'acier, telles que celles fournies par Canam. Toutefois, pour ce sous-système de béton, il est possible d'estimer les coûts à partir des règles du pouce disponibles sans avoir les valeurs de résistance exactes. Les règles du pouce utilisées ne reposant que sur les portées de la baie, il est possible d'obtenir les estimations de l'épaisseur de la dalle ainsi que celle de l'abaque, des dimensions de l'abaque et du poids d'acier d'armature. Conséquemment, si l'on ne considérait que les règles du pouce trouvées, ces décisions pourraient toutes être faites parallèlement. Pour justifier le fait qu'elles sont présentées en deux séries de décisions

parallèles, il faut considérer le fait que l'épaisseur de l'abaque est habituellement déterminée en pratique en tenant compte de l'épaisseur de la dalle et que cette dernière est fixée entre autres par la résistance du béton. De même, le choix de la limite élastique de l'acier est réalisé indépendamment de la résistance du béton. Le choix du poids d'acier d'armature par mètre carré est lié quant à lui à l'épaisseur de la dalle au niveau du calcul de la résistance. L'ordonnancement des décisions vient davantage de l'ordre des décisions habituellement utilisé pour la conception. Les nœuds montrés en gris foncé, à la figure 13 indiquent qu'aucune connaissance en conception préliminaire n'a été trouvée couvrant l'utilisation de ces paramètres.

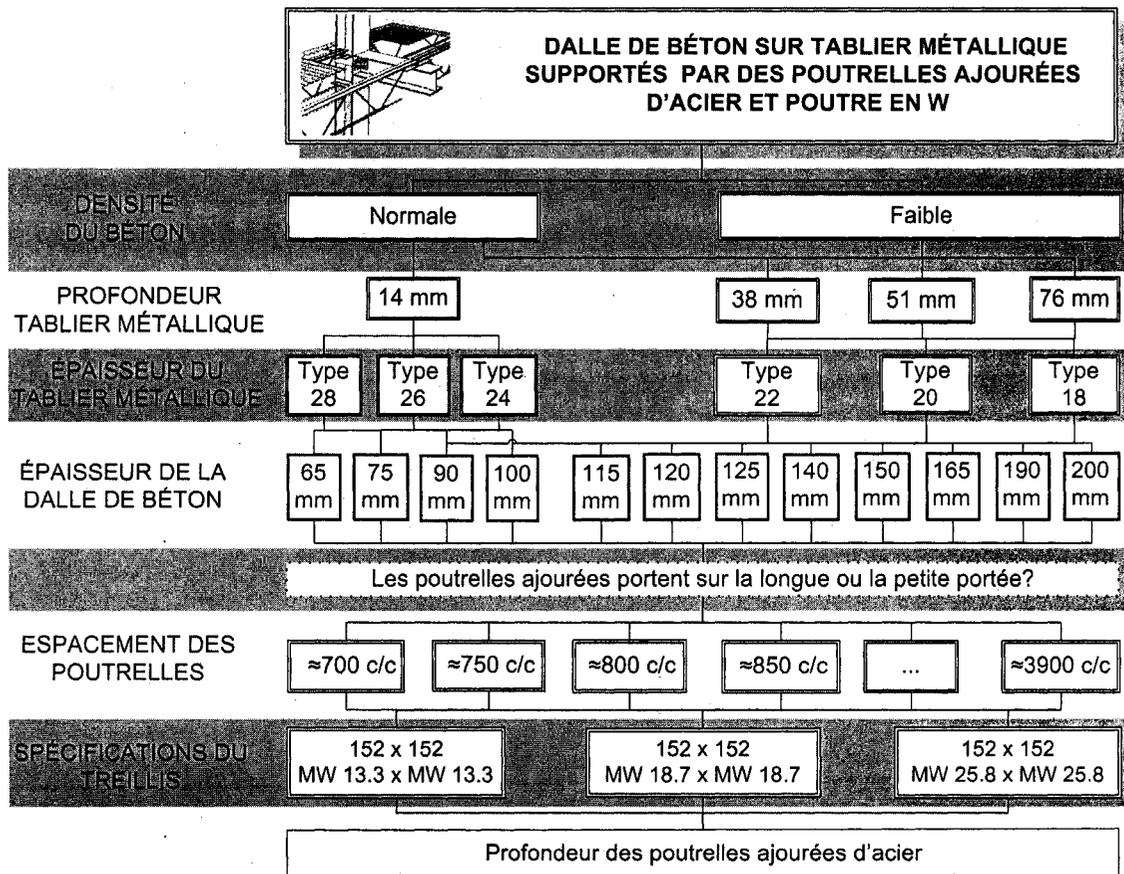


Figure 12 Arbre de décision pour un système de dalle de béton reposant sur un tablier métallique supporté par des poutrelles ajourées d'acier

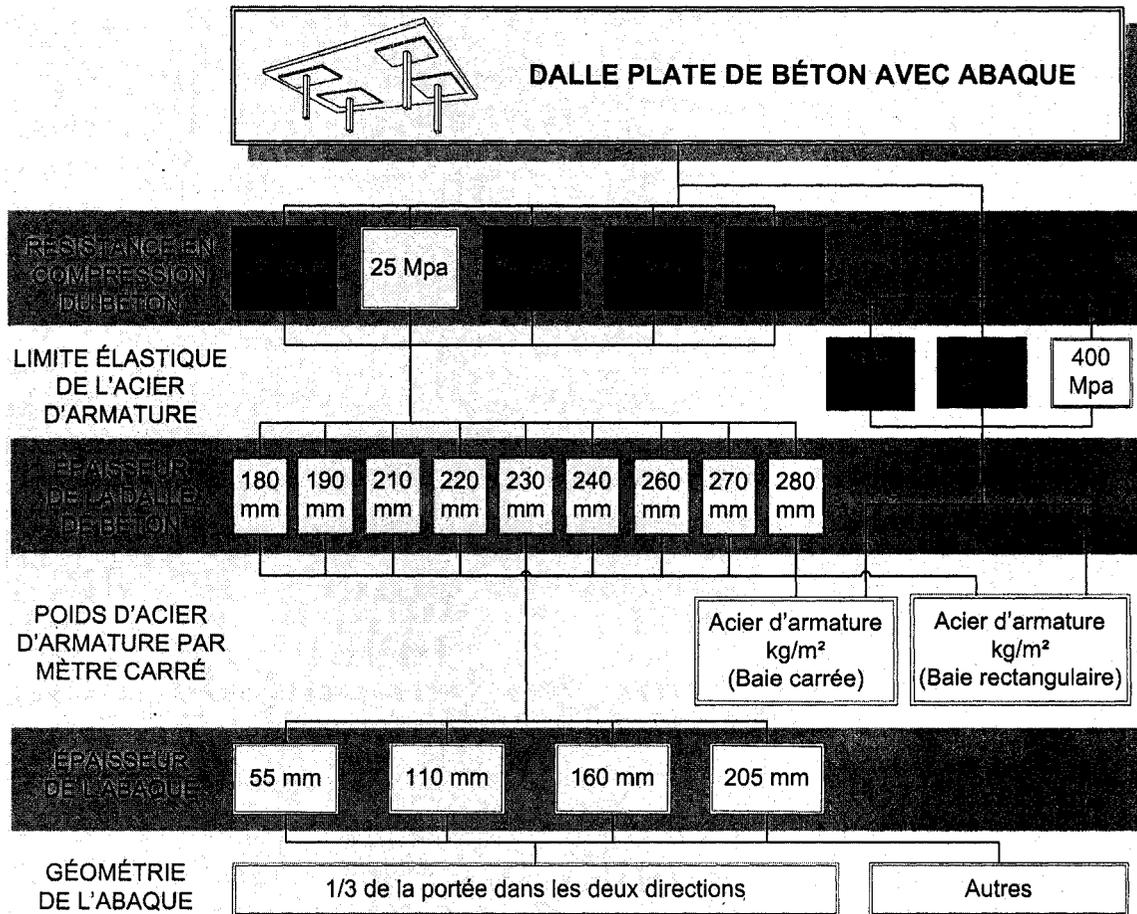


Figure 13 Arbre de décision pour définir un système de dalle plate de béton avec abaque<sup>9</sup>

Pour le sous-système de platelage de bois sur poutres de bois, plusieurs décisions sont nécessaires puisque plusieurs caractéristiques des poutres doivent être définies. Le processus ressemble essentiellement à celui du sous-système de dalle de béton sur tablier métallique supporté par des poutrelles d'acier ajourées. Ainsi, le processus commence par le choix des caractéristiques du platelage de bois suivi par le choix du sens des poutres répétitives de bois. L'espacement des poutres est ensuite nécessaire

<sup>9</sup> Les nœuds colorés en gris foncés indiquent qu'il n'y a pas de connaissance qui a été trouvée spécifiquement pour des sous-systèmes utilisant ces technologies.

de façon à permettre le calcul de la charge sur chacune d'elles. Le choix du type de poutre est ensuite nécessaire de façon à pouvoir obtenir les largeurs de poutres disponibles. Finalement, il est nécessaire de choisir la classe de propriétés mécaniques et l'essence de bois afin de pouvoir fixer la profondeur de poutre requise.

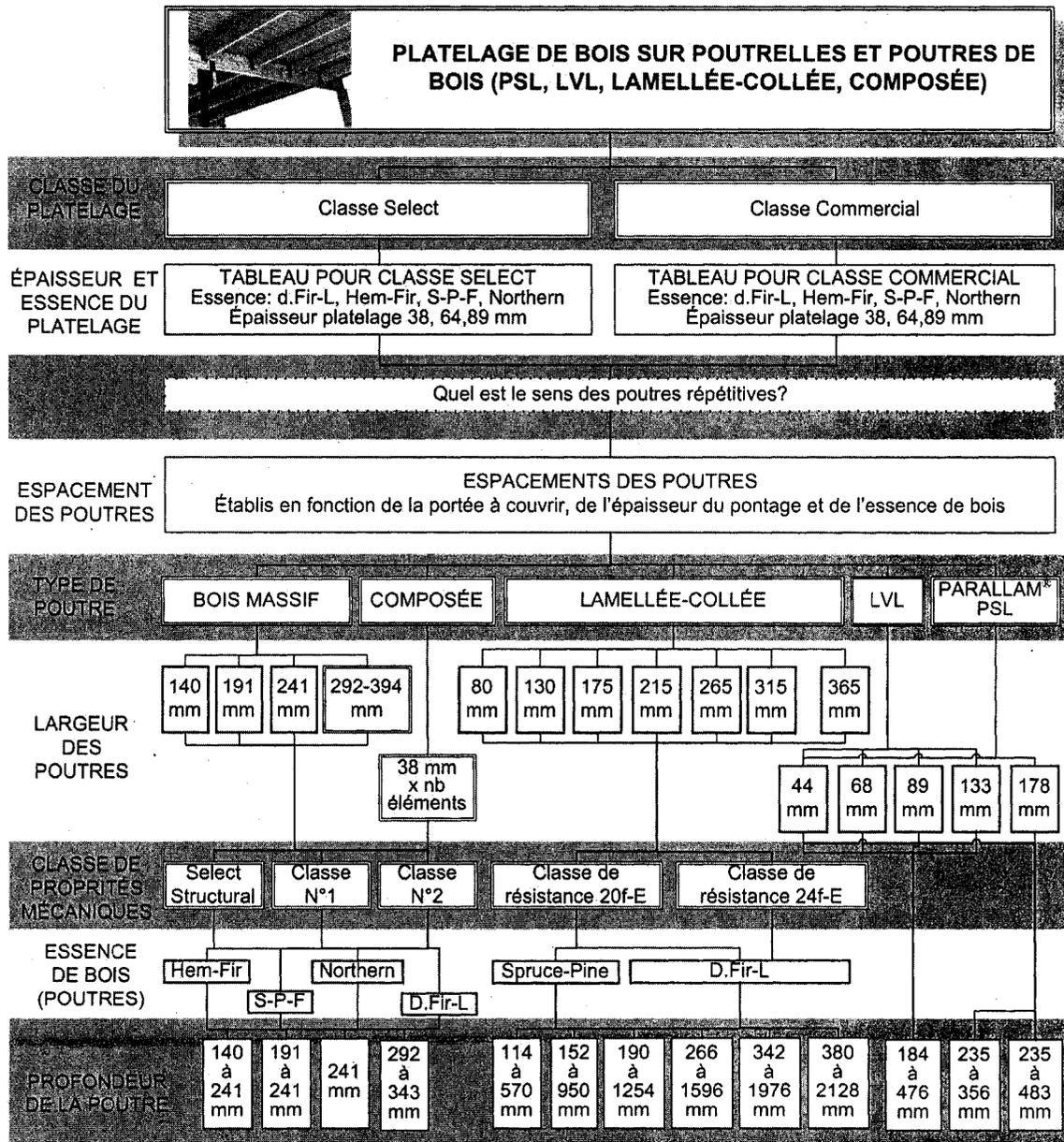


Figure 14 Arbre de décision pour un système de platelage de bois supporté par des poutres de bois

Les arbres de décisions développés pour le choix des sous-systèmes montrent plus efficacement les choix possibles de sous-systèmes à l'utilisateur que les arbres développés dans les recherches précédentes présentées. De plus, les arbres de décisions pour la définition des éléments de base des sous-systèmes n'ont pas été développés dans ces mêmes recherches. Toutefois, pour qu'il soit possible de comparer diverses solutions de sous-systèmes structuraux, il est nécessaire d'avoir une solution dont les éléments de base sont définis afin de faire un choix plus éclairé quant au prix et à la profondeur de structure nécessaire.

#### **4.4.3. Présentation de l'interface utilisée**

L'interface utilisée est inspirée des interfaces présentées dans le cadre des recherches de Boulanger (1997) pour la conception préliminaire de ponts et Ramachandran (2004) pour la conception préliminaire d'enveloppes de bâtiments. Ces interfaces ont la particularité d'offrir une assistance à l'utilisateur sans le remplacer et en couvrant les exigences expliquées à la sous-section 4.2.

Deux modules généraux sont utilisés soit le module de raisonnement géométrique « StAr » (Mora et coll., 2006) et le module de gestion des connaissances, appelé ici DKM pour « Design knowledge Manager ». Le premier module n'est pas défini ici, mais il faut savoir que c'est par ce module que l'esquisse architecturale ou le modèle de bâtiment 3D, sont introduits. De plus, c'est par ce module que l'ingénieur peut naviguer au travers du bâtiment 3D et faire l'inspection de l'architecture pour disposer les sous-systèmes structuraux. Une assistance est toutefois apportée par le DKM pour certaines étapes d'inspection. Cette assistance est apportée par une fenêtre qui sera présente indépendamment du module sélectionné.

L'interface générale renfermant les deux modules est présentée à la figure 15. L'interface est détaillée seulement pour le module de gestion des connaissances. Différentes fenêtres sont utilisées afin de couvrir les exigences relatives à l'assistance de l'utilisateur. L'interface du module de gestion des connaissances contient 5 fenêtres principales. Elles sont décrites dans les prochains paragraphes.

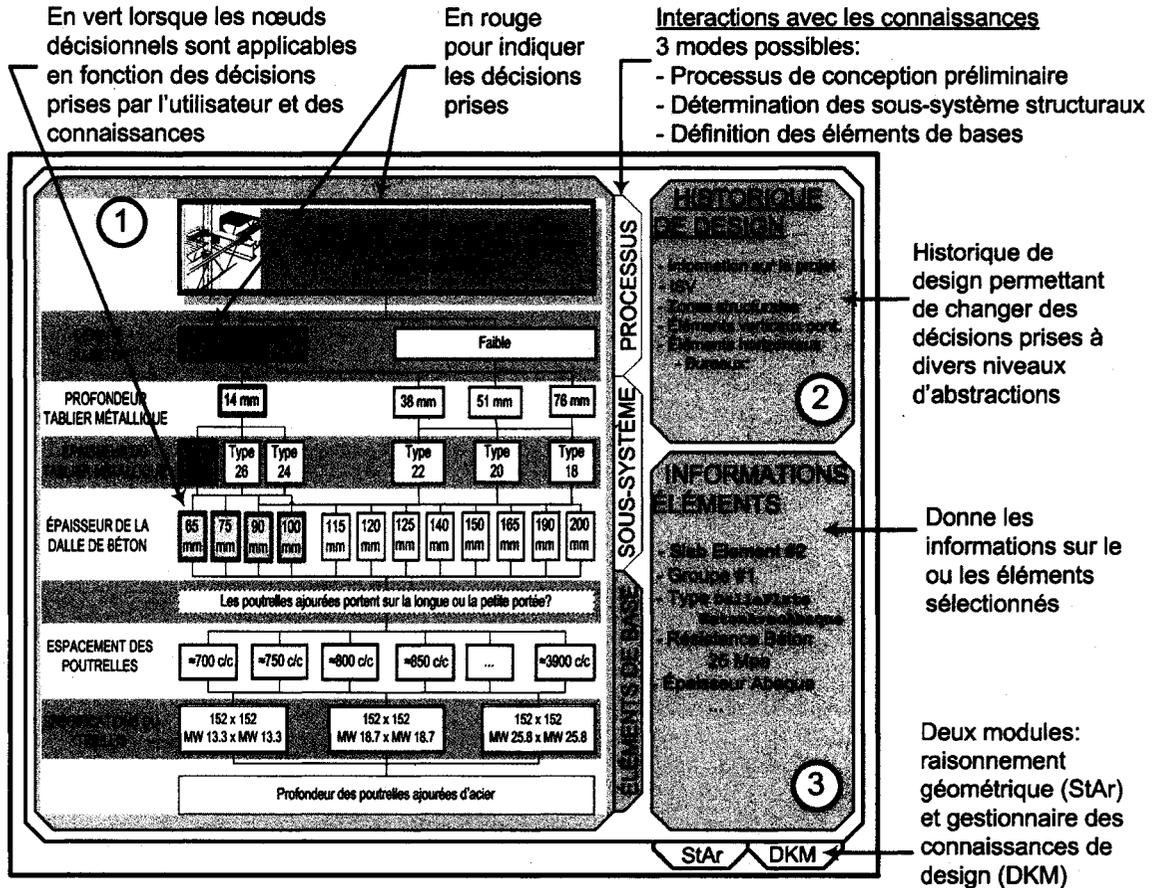


Figure 15 Interface générale envisagée de l'espace de travail

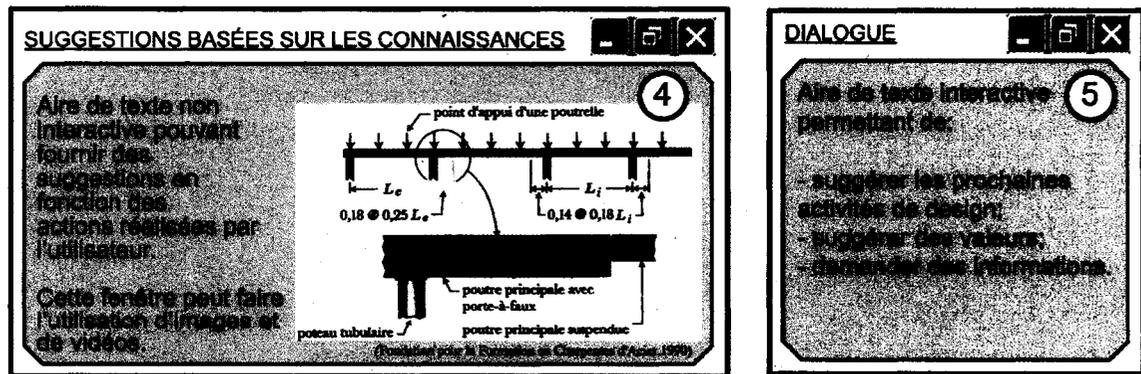


Figure 16 Fenêtres pop-up complémentaires à l'interface principale

L'interface est définie par cinq fenêtres principales :

1. **La fenêtre de conception** assiste l'utilisateur dans les décisions de conception préliminaire de structure. Elle est interactive et permet à l'utilisateur d'obtenir de l'assistance pour différents niveaux d'abstraction du bâtiment. Ainsi, elle comporte 3 modes différents (accessibles par des onglets situés à la droite de cette fenêtre) correspondant aux 3 niveaux d'abstraction différents. Le mode « processus » présente le processus de conception préliminaire montré à la figure 8. C'est par ce processus que l'utilisateur peut passer d'une étape de conception à une autre. Le mode « sous-système » fait l'utilisation d'un arbre de décision afin de déterminer un sous-système horizontal ou vertical à développer. L'exemple de l'arbre de conception utilisé pour les sous-systèmes horizontaux est montré à la figure 10. Finalement, le mode « éléments de base » fait l'usage d'arbres de décisions détaillés tel que les exemples montrés aux figures 12, 13 et 14.
2. **L'historique de design** contient toutes les décisions prises. Elles sont en ordre chronologique. Cette fenêtre est utile pour aider le concepteur à voir la progression des décisions prises et pourra être utilisée pour le retour en arrière sur des décisions déjà prises que le concepteur voudrait changer. Les dialogues et suggestions utilisés pour prendre une décision sont aussi consultables à partir de cette fenêtre.
3. **Les informations des éléments** contiennent les caractéristiques des éléments sélectionnés à l'aide du modèle numérique du bâtiment contenu dans le module StAr. Aussitôt qu'une décision est prise, les changements se rapportant à cette décision y sont aussi indiqués par un changement de valeur à un attribut ou par l'ajout d'un attribut.
4. **Les suggestions basées sur les connaissances** permettent de faire des suggestions sur les étapes de conception en cours. C'est donc avec cette fenêtre qu'il est possible de fournir à l'utilisateur tous les conseils pertinents à la conception en cours. Cette fenêtre permet aussi de montrer des images ou des

animations vidéo pour bien expliquer une suggestion. Cette fenêtre doit apparaître au moment opportun, là où il serait pertinent de la consulter pour prendre une décision.

5. **Le dialogue** permet d'interagir avec l'utilisateur. Ce dernier peut y entrer ou modifier des valeurs qui y sont proposées. Cette fenêtre peut aussi être utilisée pour demander des informations nécessaires à la poursuite du processus de conception.

#### **4.5. Assistance envisagée de l'utilisateur à travers tout le processus de conception préliminaire**

Les différentes étapes de conception préliminaire sont identifiées et ordonnées dans le processus montré à la figure 8. L'assistance envisagée tout au long du processus est décrite ici. L'assistance à l'utilisateur sera présentée en fonction des deux modules identifiés sur la figure 15, c'est-à-dire le module de raisonnement géométrique et le module de gestion des connaissances. L'interaction entre les deux modules est essentielle puisqu'un module assure le raisonnement géométrique tandis que l'autre fournit à l'utilisateur les connaissances nécessaires pour l'assister. L'intensité de l'interaction varie toutefois en fonction des étapes de conception en réalisation. Les deux modules sont placés à un même niveau, c'est-à-dire que les deux modules peuvent contrôler la conception. Ainsi, l'utilisateur peut réaliser dans StAr certaines étapes de la conception et lorsqu'il désire passer au module de gestion des connaissances, le module s'adapte en fonction des étapes déjà réalisées. L'assistance apportée est décrite en fonction des étapes du processus de conception préliminaire identifié. Ces étapes ont été décrites à la sous-section 3.3.1.

Il a été identifié que le module de raisonnement géométrique est davantage utilisé dans les premières étapes de conception (Étapes 1 à 5) tandis que le module de gestion des connaissances est de plus en plus utile dans les étapes plus détaillées du processus (Étapes 6 à 11).

Le modèle architectural peut provenir soit de l'interpréteur d'esquisses nommé EsQUISE ou d'un logiciel de dessin informatique 3D en architecture. Toutefois, le module de connaissances complet qui est envisagé peut être utilisable seul, sans avoir d'interactions avec un modèle architectural. Par exemple, il peut être utilisé pour requérir une aide en fonction de critères généraux considérant l'utilisation du bâtiment ou encore pour consulter les tables des portées optimales en fonction du type de structure et des charges appliquées. Ce type de fonctionnement pourrait faciliter les rencontres de début de projet entre un architecte et un ingénieur.

L'assistance à l'utilisateur est décrite en présumant que l'architecte a une conception du bâtiment suffisamment avancée permettant d'avoir une vue globale du bâtiment, de connaître l'usage des espaces, et de savoir où il est possible d'implanter des éléments structuraux. Les esquisses d'une caserne de pompier sont présentées à la figure 17. L'assistance est présentée en fonction des esquisses de ce bâtiment comportant un étage de bureau superposé à un garage réservé aux camions de pompier. Le toit est utilisé en tant que terrasse.

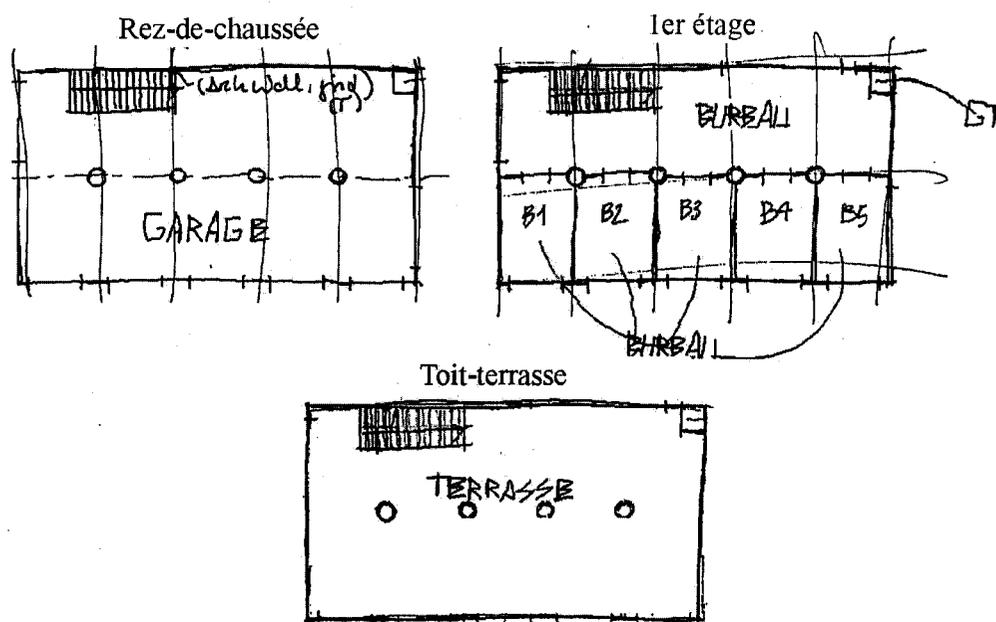


Figure 17 Esquisses architecturales d'une caserne de pompiers  
(Dessinées par Pierre Leclercq)

#### 4.5.1. Information sur le projet (Étape 1)

Lorsque l'utilisateur passe en mode DKM, si l'utilisateur n'a pas encore entré les informations de base du projet, le DKM, à l'aide de la fenêtre de dialogue, demande le nom du projet, la localisation et le budget prévu pour la structure.

Une fois confirmées (OK), les informations sont reportées dans la fenêtre « historique de design » et l'interface indique en vert les nouveaux nœuds applicables du processus de conception (Voir figure 19).

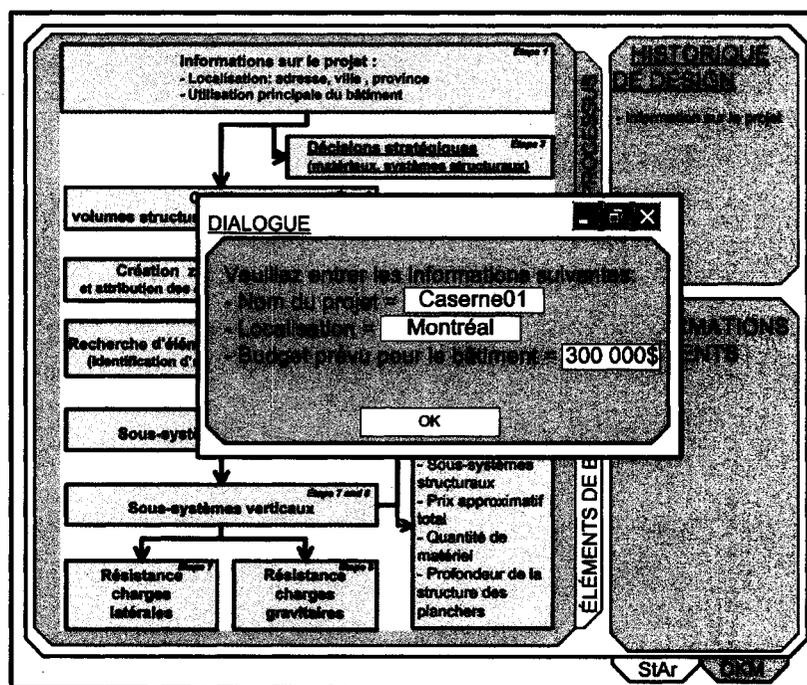


Figure 18 Demande d'informations nécessaires à la conception préliminaire

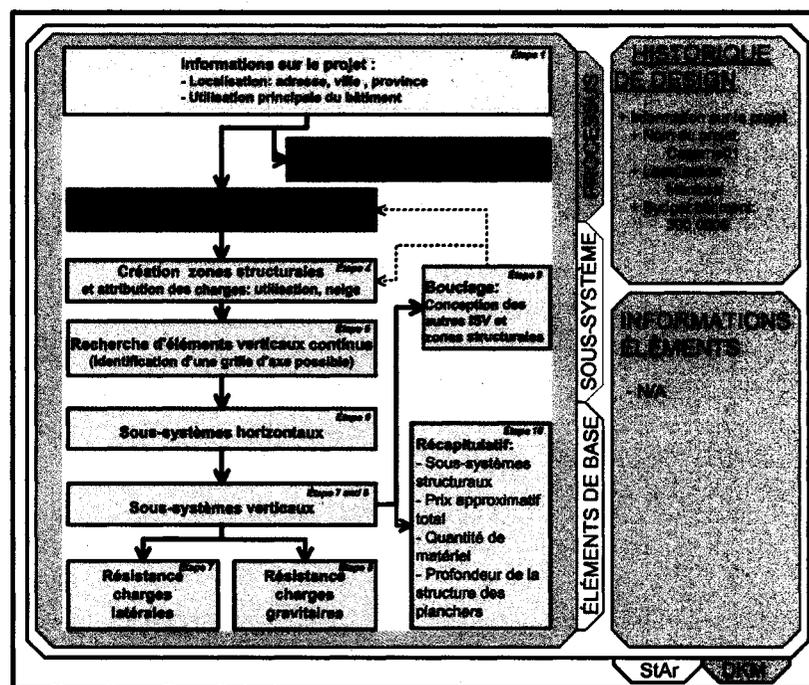


Figure 19 Rafraîchissement après l'étape 1

#### 4.5.2. Création des volumes structuraux indépendants (Étape 2)

La création de ces volumes se fait à partir de StAr car l'ingénieur peut prendre des décisions par rapport à la volumétrie globale du bâtiment. Le DKM peut fournir des suggestions relatives à la longueur maximale d'un bâtiment ne nécessitant pas de joint de dilatation en fonction de la forme générale du bâtiment, des différences de températures que pourraient subir le bâtiment, et du matériau structural (American Institute of Steel Construction, 2005). Ces suggestions basées sur les connaissances pourraient utiliser la fenêtre de type numéro 4 et ainsi fournir l'information au même temps que l'utilisateur créé les volumes structuraux indépendants dans StAr.

Pour l'exemple de la caserne, considérant que le bâtiment n'a que cinq baies de trois mètres de largeur, pour un total de quinze mètres (environ 50 pieds < 200 pieds), et que le bâtiment a une forme rectangulaire, les connaissances suggèrent de ne pas faire de joint de dilatation pour ces motifs (Voir annexe 2, connaissance 5).

#### **4.5.3. Décisions stratégiques (Étape 3)**

Les décisions stratégiques peuvent être faites à tous les niveaux d'abstraction en parallèle par rapport aux autres étapes. Ainsi, l'ingénieur peut déterminer des choix stratégiques allant des matériaux jusqu'aux éléments de base. L'utilisateur peut faire ces choix à l'aide des arbres de nœuds décisionnels disponibles (Voir figures 10 à 14) pour les différents niveaux d'abstraction. Étant en mode décisions stratégiques, les décisions prises s'appliqueront à la conception générale du bâtiment. Ainsi, si l'ingénieur sélectionne l'acier et le béton pour le présent exemple, seuls ces matériaux pourront être utilisés subséquentement (Voir figure 20). De la même manière, l'ingénieur pourrait décider dès le départ quel type de système de plancher il désire utiliser. L'assistance par les connaissances devrait pouvoir s'ajuster en fonction des décisions prises.



espaces ayant un usage, une hauteur de structure possible et des portées relativement semblables. Ce regroupement peut être changé par l'utilisateur selon ses préférences. Il sert seulement à accélérer le processus de création des zones structurales.

Dans l'exemple de la caserne, l'utilisateur pourrait créer une première zone structurale pour le 1<sup>er</sup> étage (en jaune sur la figure 21), une autre pour le deuxième étage groupant ainsi les bureaux (en mauve sur la figure 21) et une dernière zone structurale pour la terrasse (en rouge sur la figure 21). L'utilisateur pourrait décider de modifier le regroupement effectué après coup ou l'accepter tel quel.

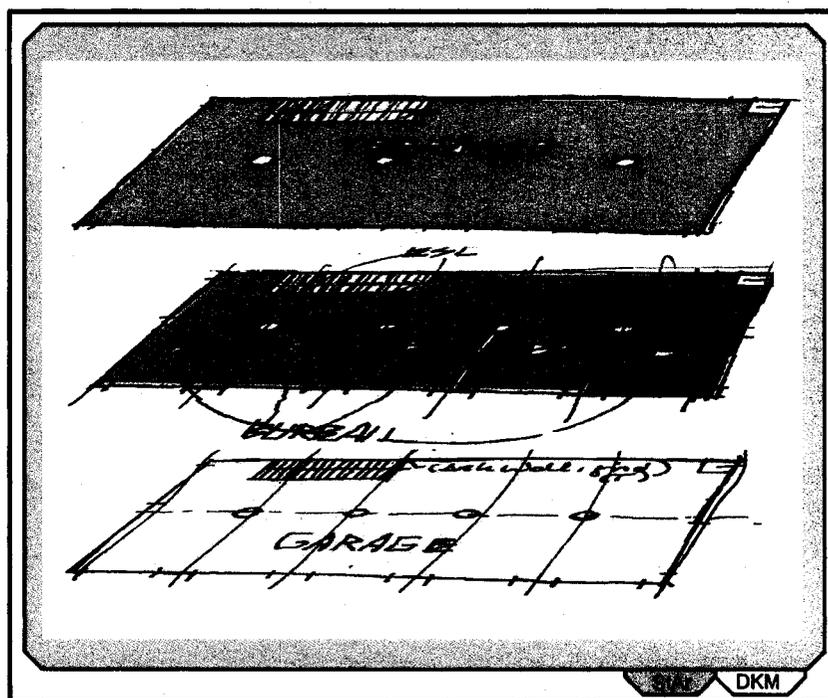


Figure 21 Regroupement de baies semblables formant des zones structurales

Une fois les zones structurales acceptées par l'utilisateur, le DKM assiste l'utilisateur pour assigner une charge à chacune des zones structurales. Le DKM suggère des valeurs par défaut provenant du code national du bâtiment en se basant sur l'usage le plus restrictif des espaces dans une zone (Conseil national de recherches du Canada &

Québec (Province). Régie du bâtiment du Québec, 2001). L'utilisateur peut accepter ou changer les valeurs par défaut fournies en fonction des spécificités du projet en cours.

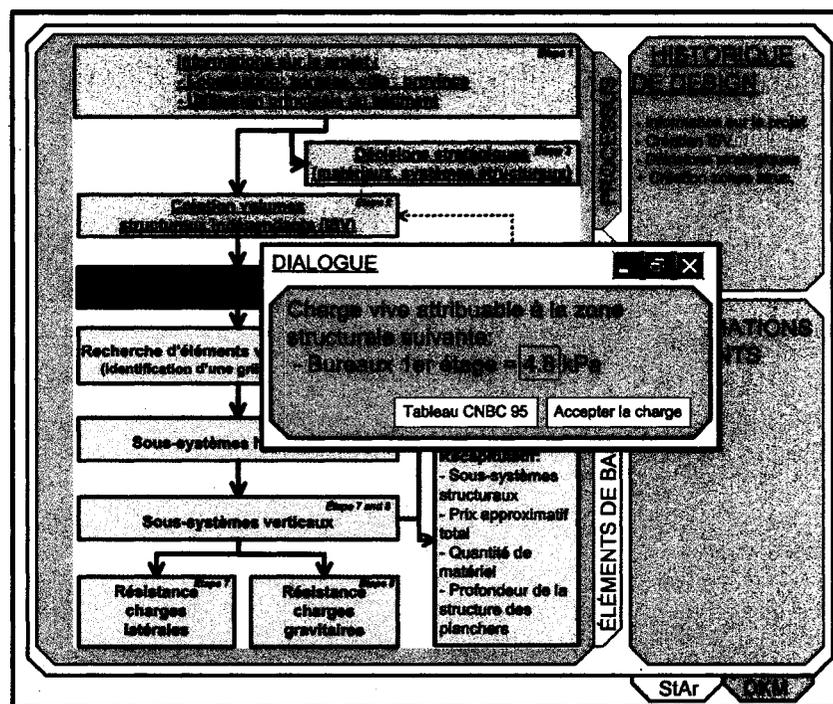


Figure 22 Fenêtre de dialogue permettant de déterminer la charge vive de la zone structurale

#### 4.5.5. Recherche d'éléments verticaux continus (Étape 5)

La recherche d'éléments verticaux continus s'effectue à l'aide de StAr (Mora, 2005). Ce module recherche quels éléments sont continus d'un étage à l'autre et les indiquent en rouge au concepteur. Ainsi, il n'a pas à chercher sur tous les plans, en les superposant plus ou moins correctement pour déterminer si des continuités sont présentes dans l'architecture. La notion de tolérance est présente afin que le concepteur, suite à une recherche infructueuse ou incomplète, puisse rechercher des continuités imparfaites. Ainsi, une tolérance latérale et des discontinuités ponctuelles sur un étage ou un groupe d'étages pourraient être déterminées par l'utilisateur permettant une recherche plus large et menant vers des propositions de changements à l'architecture permettant de réaliser la structure.

Ce que le module de gestion des connaissances (DKM) peut offrir à ce point concerne notamment les dimensions de trames structurales optimales pour chacun des matériaux ou encore en fonction des choix stratégiques effectués.

En ayant bien en vue les différents éléments continus et les suggestions du DKM, l'utilisateur peut établir une trame préliminaire de la structure et faire une première itération de cette manière. Si une trame architecturale avait déjà été établie, la trame structurale peut se baser sur celle-ci. Toutefois, dans la présente recherche, puisque le modèle architectural préliminaire provient du traitement d'une esquisse (réalisée dans EsQUIsE) ou d'un modèle 3D, la trame architecturale y est souvent absente.

Dans le cas de la caserne, en fonction des choix stratégiques effectués qui restreignaient les matériaux à utiliser au béton et à l'acier, le module de gestion des connaissances propose les portées optimums montrées en figure 23 pour ces deux matériaux seulement (Voir annexe 2, connaissances 21 et 31). L'utilisateur peut conserver la fenêtre même lorsqu'il passe en mode StAr. Toutefois, l'utilisateur peut faire ne pas considérer les informations suggérées et utiliser, comme le présent exemple, une trame structurale suggérée par l'architecture de  $4 \times 3$  mètres, composant ainsi cinq baies d'égales dimensions.

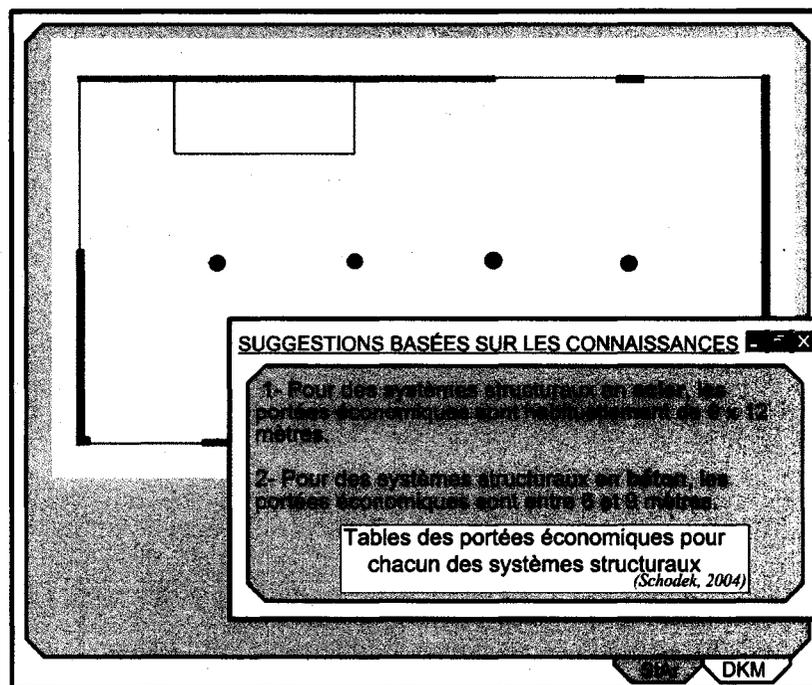


Figure 23 Mise en évidence des éléments verticaux dans StAr et suggestions basées sur les connaissances

#### 4.5.6. Éléments horizontaux (Étape 6)

La conception des éléments horizontaux débute par la sélection d'un élément de dalle à partir du module StAr. L'utilisateur peut sélectionner un ensemble d'éléments semblables (dimensions de la baie, ouvertures, etc.) d'une même zone structurale, pour être conçus en même temps.

Considérer plusieurs options structurales pour les planchers est particulièrement important puisque les coûts d'un projet proviennent essentiellement des éléments de plancher. Suite à la sélection, à partir de StAr, des éléments de dalle à concevoir, il est possible de passer au module de gestion des connaissances pour obtenir une assistance du module de connaissances. La conception du groupe d'éléments de dalle se fait à l'aide d'un arbre de nœuds décisionnels montré à la figure 10. Toutefois, contrairement à l'interface montrée à la figure 24, l'arbre montré à l'utilisateur pourrait contenir seulement les solutions applicables. Il faudrait cependant fournir l'option de voir tous les systèmes, incluant ceux qui ne sont pas applicables, car l'utilisateur

pourrait vouloir savoir pourquoi ils ne sont pas applicables. Il faudrait alors fournir la règle qui a rendu le système non applicable.

La première décision consiste à déterminer les charges mortes additionnelles qui affecteront la structure : cloisons, mécanique du bâtiment, etc. Des charges, tirées du code applicable, (Conseil national de recherches du Canada & Québec (Province). Régie du bâtiment du Québec, 2001) sont proposées à l'utilisateur, à l'aide d'une boîte de dialogue, et il peut en modifier la valeur et/ou ajouter de nouvelles charges. Pour l'exemple de la caserne, le dialogue pourrait être celui montré à la figure 24.

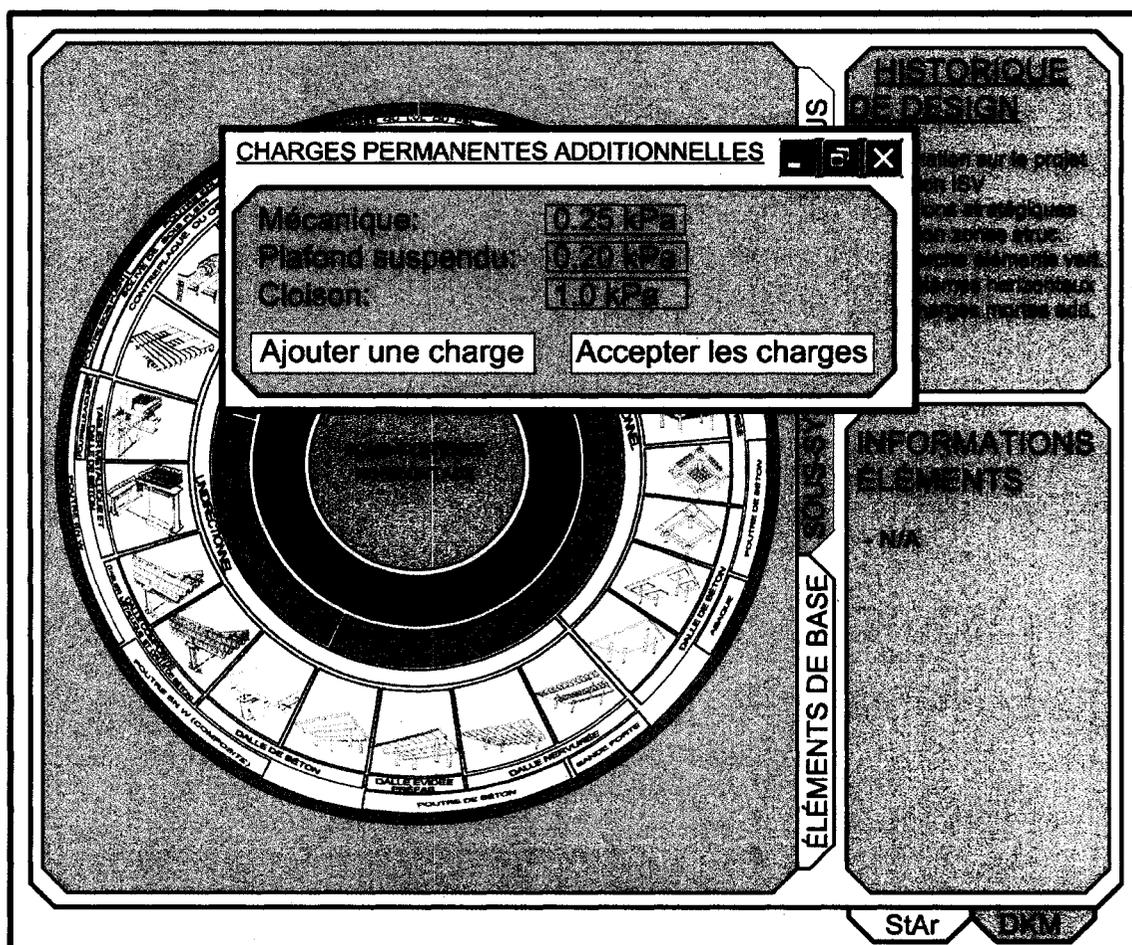


Figure 24 Boîte de dialogue pour déterminer les charges permanentes additionnelles



Bien que les deux matériaux sélectionnés à l'étape de décisions stratégiques soient applicables (matériaux disponibles localement ou autre), l'utilisateur peut remarquer que de faire ce choix ne le mènerait pas à un choix d'un sous-système. Ceux-ci ne sont pas applicables étant donné que les portées des baies de la caserne ne permettent pas aux systèmes de béton d'être économiquement viables selon les connaissances acquises (annexe 2, Tableau IX et Tableau X). Les sous-systèmes horizontaux en acier sont toutefois applicables et sont donc montrés en vert. L'utilisateur décide donc de sélectionner l'acier comme matériau. Il est aussi possible de consulter une page d'informations sur chacun des matériaux. Ces pages pourraient contenir des liens vers les associations de chacun des matériaux et de l'information pouvant fournir des arguments de choix tels les avantages et inconvénients liés à l'utilisation du matériau.

Une fois l'acier désigné comme matériau structural, le cheminement des charges est limité à l'unidirectionnel puisque les systèmes structuraux en acier n'utilisent que rarement des structures bidirectionnelles entre autres pour des structures à très grande portée. Si le béton avait été sélectionné, les deux types de cheminement de charges auraient pu être applicables, car le rapport de la grande portée sur la petite portée est plus petit que 2. De plus, d'autres connaissances peuvent être fournies sous forme de « suggestions » telles que les intervalles de portées pour lesquels chacun des cheminements de charge est efficace (Voir annexe 2, connaissance 58).

L'utilisateur en arrive ensuite à choisir le sous-système horizontal à développer. Les sous-systèmes applicables sont montrés en vert, tel que mentionné plus tôt. Il est possible de passer le pointeur sur les systèmes qui sont non applicables et la raison de la non-applicabilité est fournie à l'utilisateur.

« Les bonnes conceptions sont jugées par leurs coûts globaux. Au stade de conception préliminaire, c'est un des critères primordiaux pour comparer différentes options »<sup>10</sup> (Ravi, 1998). Ainsi, une évaluation grossière du prix au pied carré en fonction du sous-

---

<sup>10</sup> Traduction libre.

système peut être fournie à l'utilisateur (Voir figure 25). Ce prix tient compte des dimensions de la baie, des charges surimposées au sous-système structural, du prix de la main d'œuvre et des matériaux. Un exemple des tables utilisées pour évaluer ce prix est montré en annexe 2, Tableau XI.

De plus, une estimation de la profondeur requise de structure peut être fournie en passant le curseur sur les sous-systèmes provenant de R.S. Means Company (2005) et de tables réalisées par Schodek (2004). Bien que les évaluations soient seulement une estimation, elles peuvent servir à identifier quelles options de systèmes de plancher doivent être examinées de plus près. Pour la caserne, l'ingénieur pourrait décider de choisir l'option du sous-système constitué d'une dalle de béton, sur tablier métallique, poutrelles d'acier ajourées et poutre en I.

Ainsi, une fois que l'ingénieur a sélectionné un type de système en particulier, l'arbre de décisions relatif au sous-système s'ouvre et l'ingénieur est invité à détailler les éléments de base du sous-système structural s'il désire pousser plus loin l'évaluation préliminaire déjà effectuée. À chaque décision prise par l'ingénieur, les nœuds décisionnels qui ne sont plus applicables retournent à un état inactif (non sélectionnés et non applicables) (Voir figure 26). Ainsi, l'interface évolue en indiquant les décisions possibles en vert et celles qui sont prises en rouge. L'historique de design se met aussi à jour au fil des décisions. Tout au long du processus, des conseils peuvent être fournis à l'utilisateur afin de le guider dans ces choix. Lorsqu'un nœud décisionnel est appliqué, tous les autres nœuds de l'arbre de décision vérifient s'ils peuvent être appliqués en fonction des décisions déjà prises. De cette manière, l'utilisateur peut rapidement voir quelles sont les implications de la décision qu'il vient de prendre. En tout point du processus de décision, il est possible de faire marche arrière.

Pour le cas de la caserne, les éléments de base pourraient être définis en fonction des valeurs minimales applicables de chacun des éléments de base. Ainsi, la dalle de béton peut être de densité normale et reposer sur un tablier métallique d'une profondeur de 14 mm de type 22. L'épaisseur de la dalle de béton peut être de 65 mm d'épaisseur. Les poutrelles peuvent être disposées, tel que suggéré par les connaissances, soit



dans le sens de la plus longue portée de la baie. L'espacement des poutrelles peut être fixé à 700 mm c/c et le treillis de la dalle de béton, conséquemment à l'espacement des poutrelles, peut être défini par un treillis de 152 × 152 MW13.3 × MW13.3. Finalement, la profondeur des poutrelles, étant donné leur portée et la charge qu'elles supportent, pourrait être de 200 mm.

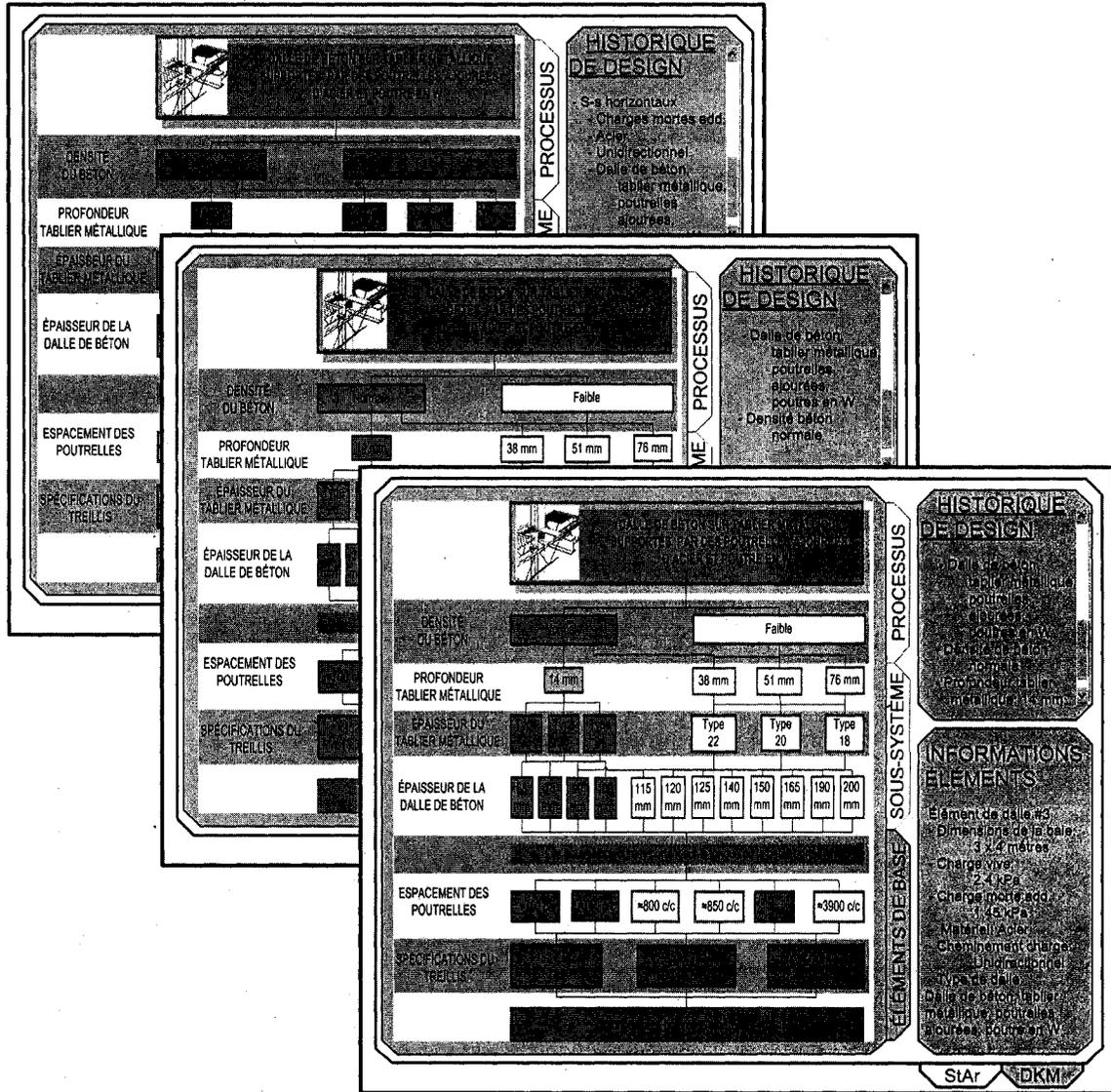


Figure 26 Évolution de l'interface en fonction des décisions prises

Une fois tous les éléments de base déterminés, une autre évaluation du prix au pied carré peut être faite. Celle-ci est plus précise que celle faite au niveau d'abstraction

plus haut, soit celui du sous-système. De même, la profondeur du système structural est aussi évaluée et plus précise.

Finalement, si l'ingénieur voulait détailler davantage la solution, le modèle pourrait être transféré à un logiciel commercial d'analyse. L'ingénieur peut décider d'observer de nouvelles possibilités en revenant en arrière dans les décisions prises ou encore appliquer la conception réalisée au modèle 3D au sein de StAr.

#### **4.5.7. Éléments verticaux (Étape 7 et 8)**

La façon dont pourrait être effectuée la conception des éléments verticaux a été rapidement explorée. Les efforts ont été concentrés davantage sur la conception des éléments horizontaux, car tel que mentionné, ces éléments constituent la majorité des coûts de la structure de bâtiments de faible et moyenne hauteur.

Les systèmes de résistance aux charges de gravité peuvent être définis selon trois systèmes qui sont parfois partagés par les systèmes de résistance latérale. L'utilisateur peut choisir à l'aide de StAr quels sous-systèmes de résistance appliquer. Les connaissances peuvent suggérer à l'utilisateur quel système est habituellement utilisé pour le type de bâtiment en cours de conception. Pour la caserne, étant donné que le garage du rez-de-chaussée requiert un espace ouvert, les murs porteurs ne sont donc pas possibles. L'utilisation de colonnes est donc préconisée.

La conception des sous-systèmes structuraux verticaux pourrait toujours se faire de pair avec StAr. Ce que StAr peut actuellement déceler, ce sont les discontinuités d'un étage à l'autre et aussi un problème d'instabilité liée au nombre insuffisant de dispositifs de résistance aux lignes d'action concourantes de ces derniers. En ce qui concerne le module de gestion des connaissances, bien qu'un nombre limité de connaissances sont actuellement disponibles comparativement à celles ayant été identifiées pour les sous-systèmes structuraux, il est toutefois possible d'indiquer à l'utilisateur des conseils directs tels que pour l'emplacement des sous-systèmes de résistance latérale. Ainsi, il est possible de rappeler à l'utilisateur qu'il est préférable de situer ces éléments de résistance sur les extrémités du bâtiment et de façon symétrique (pour limiter la torsion

dans le bâtiment) (Schodek, 2004) et d'utiliser les cages d'escaliers et d'ascenseurs pour leur excellente continuité sur toute la hauteur du bâtiment (Parent, 2004).

Toutefois, les règles du pouce sont plutôt rares dans la littérature pour déterminer des dimensions préliminaires et il ne semble pas que les ingénieurs praticiens aient de ces règles (Parent, 2004). Pour une région située en zone sismique, un point intéressant pour un logiciel de conception préliminaire serait de pouvoir vérifier rapidement l'impact de l'utilisation d'un système à faible ductilité par rapport à un système à ductilité élevée. Ainsi, il pourrait être évalué plus rapidement s'il en vaut la peine de payer les frais supplémentaires reliés à la haute ductilité de la structure par rapport aux économies liées à la réduction de la force sismique. Ainsi, ce qui pourrait être envisageable, ce serait de fournir à l'utilisateur un arbre de décision dans lequel l'ingénieur pourrait avoir des conseils relatifs à ce qui est habituellement utilisé pour un type particulier de bâtiment ainsi qu'une évaluation rapide des efforts sismiques et ensuite assurer un lien rapide vers un logiciel d'analyse 3D qui permettrait d'établir la répartition des forces sur les systèmes de résistance latérale et de vérifier si les dimensions des éléments sont suffisantes.

Dans le cas de la caserne, un bâtiment de faible hauteur en acier, il attire peu de charges sismiques étant donné son poids relativement faible. Ce qui pourrait être proposé comme solution habituellement adoptée serait d'utiliser des contreventements en croix. Les fermes rigides ne sont pas utilisées pour des bâtiments de faible hauteur et c'est pourquoi ils ne sont pas applicables pour le type de bâtiment de la caserne. Pour ce type de contreventement, il a été établi dans Parent (2004) que l'angle des contreventements seraient entre 30 et 60 degrés pour un angle optimal se situant à 45 degrés. Ce genre d'information pourrait se retrouver dans une fenêtre de type « Suggestions basées sur les connaissances ».

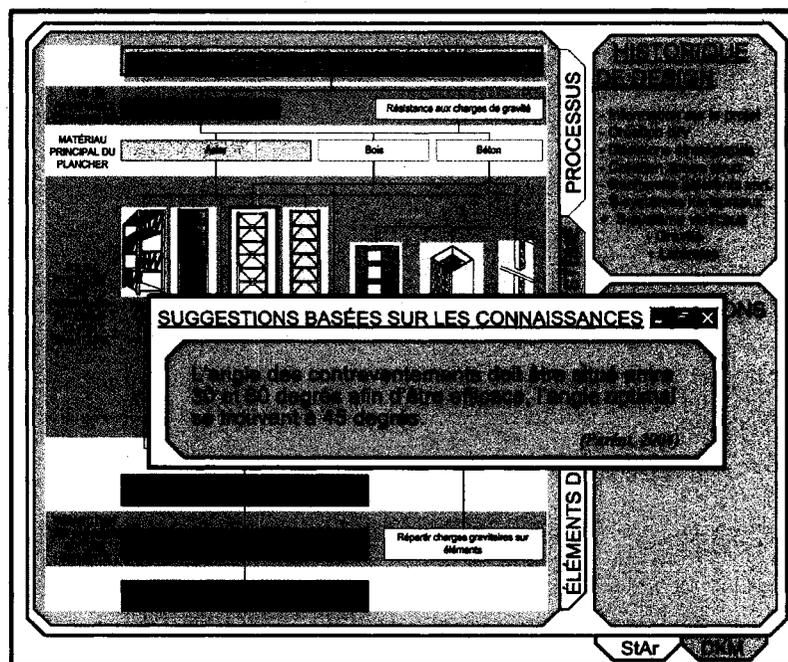


Figure 27 Suggestions pouvant affecter le choix de l'emplacement des contreventements

Une fois que l'utilisateur aurait choisi un système de résistance latérale, il serait appelé à le positionner dans StAr. Le prédimensionnement et le nombre de ces éléments pourraient se faire à l'aide de l'expérience de l'ingénieur et de connaissances non formellement identifiées à ce jour dans la littérature.

#### 4.5.8. Étapes finales de conception

L'étape 9 consiste à faire la conception des autres zones structurales ainsi que des autres volumes structuraux. Pour la conception des autres éléments, le processus est essentiellement le même que celui qui a été décrit dans les étapes 2 à 8 sauf que les systèmes qui ont été utilisés précédemment devraient être réutilisés le plus possible.

L'étape 10 consiste en un compte rendu de toutes les étapes de conception. Ce compte rendu peut être efficacement consulté à l'aide du modèle 3D dans StAr et à l'aide de différentes options permettant de savoir qu'elle est la hauteur totale du bâtiment, la quantité de matériau, etc.

Normalement, le concept final serait transféré à un logiciel d'analyse existant et pourrait initier le processus présentement utilisé par les ingénieurs en structure.

#### **4.6. Conclusion**

Au cours de ce chapitre, l'assistance envisagée à l'aide du module de gestion des connaissances (DKM) et du module StAr a été présentée. Cette façon de faire pourrait être une façon idéale qui pourrait mener à un outil utile à la conception préliminaire d'un bâtiment. Pour les étapes 1 à 5, le DKM est moins utilisé que le module StAr. Toutefois, le DKM est utile pour donner des conseils pertinents à l'étape de conception en cours. Pour les étapes 6 à 8, le DKM est très utile pour explorer différentes solutions afin de trouver une solution optimale.

Dans le prochain chapitre, l'implémentation d'un prototype limité à la conception des éléments horizontaux faisant état de preuve de concept est expliquée. Les détails de l'implémentation et les éléments n'ayant pu être faits tels que prévus y seront aussi présentés.