

CHAPITRE 6

PRÉSENTATION DU PROTOTYPE ET EXEMPLE D'UNE SESSION DE CONCEPTION

Dans ce chapitre seront présentées les instructions pour pouvoir utiliser le prototype. Ce prototype est limité à la conception des éléments structuraux horizontaux ayant été implémentés au cours de cette recherche. Tel que mentionné dans le chapitre précédent, une session de conception typique sera réalisée en fonction des sous-systèmes horizontaux implémentés.

6.1. Manuel de l'utilisateur

Le manuel permet de mieux comprendre les fonctionnalités du prototype et devrait faciliter la tâche des chercheurs qui auront à travailler à l'amélioration de celui-ci lors de prochaines itérations menant à une version améliorée du prototype. De plus, ce manuel pourrait servir à l'évaluation par des professionnels lors d'étapes futures de développement. Dans les prochains paragraphes, la façon d'initialiser la base de données, les fonctionnalités de l'interface ainsi que les connaissances incluses dans le prototype seront expliquées.

6.1.1. Mesures temporaires d'initialisation du modèle

Le module de gestion des connaissances (DKM) communique avec la base de données « Caché » pour obtenir les informations provenant de StAr, tel qu'expliqué dans le chapitre 5. Toutefois, au présent stade de développement, seul le DKM communique avec Caché. La communication de StAr à Caché devrait être réalisée sous peu.

Avant de générer de nouvelles entités de dalles, il est nécessaire d'effacer les entités qui pourraient y être déjà présentes. Pour ce faire, il est nécessaire de suivre les cinq étapes suivantes :

1. Ouvrir le « Portail d'administration système » de Caché;
2. Sélectionnez « SQL »;
3. Sélectionnez « DKM » ;

4. Sélectionnez « Exécuter instruction SQL »
5. Inscrire la requête suivante : Delete from CachéEntities.buildingEntity;
6. Appuyez sur « Exécuter requête » et l'on devrait obtenir une fenêtre telle que montrée à la figure 41.

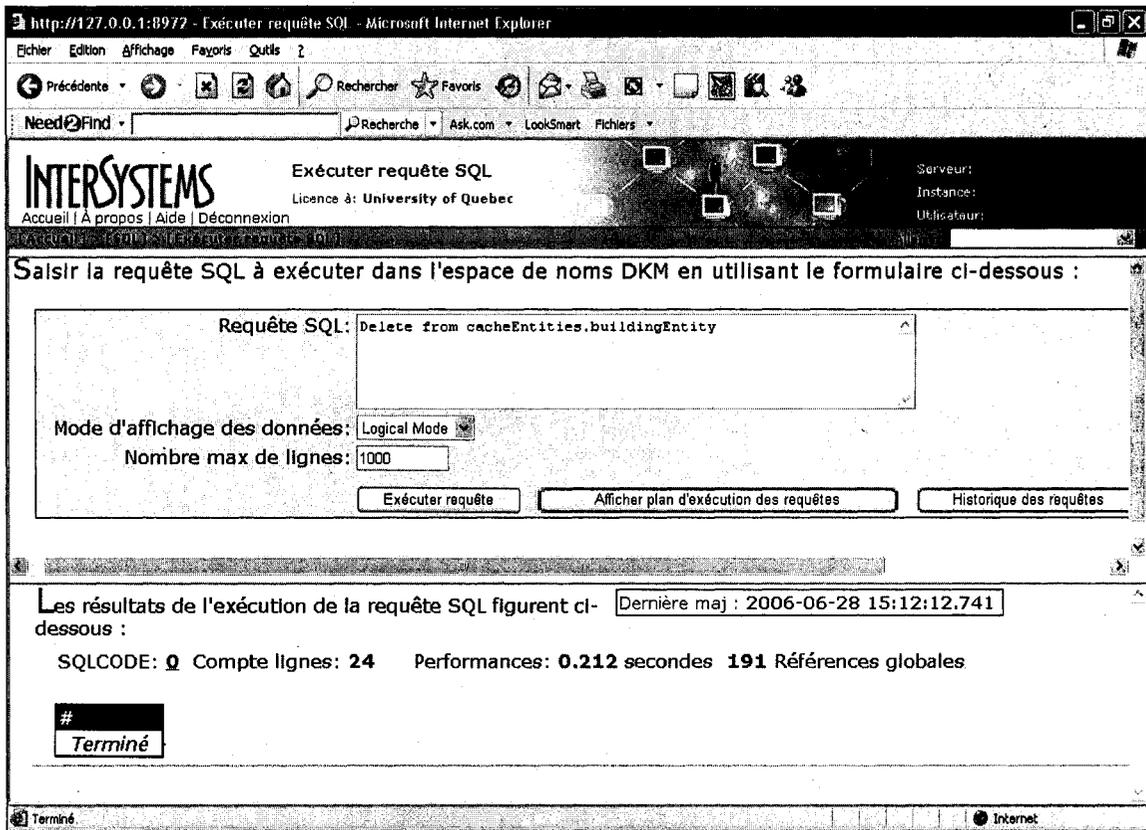


Figure 41 Fenêtre après la réinitialisation des entités de la base de données de « Caché »

Pour générer de nouvelles entités, étant donné que la communication avec StAr n'est pas complétée, il faut le faire à l'aide d'un *paquetage* indépendant à celui du DKM nommé « **PrototypeBuilder** ». C'est à l'intérieur de ce *paquetage*, à même la classe « **Main** », qu'il est possible de fixer les dimensions de la baie et l'intensité de la charge vive applicable sur l'élément de dalle. Il faut compiler ce *paquetage* avant celui du DKM afin de créer les entités avec lesquelles il sera possible d'interagir.

6.1.2. Fonctionnalités de l'interface

L'interface contient 3 fenêtres principales et deux modes tels que décrits dans le chapitre 4. Pour l'instant, le mode StAr présente les entités sous forme d'arbres. Chacune des relations entre les entités est générée à partir du « PrototypeBuilder ». Cette fenêtre sera appelée à être remplacée par celle de StAr, utilisant un modèle de bâtiment beaucoup plus convivial. Pour l'instant, il est nécessaire de cliquer sur un des nœuds appelés « Dalle ». Ensuite, afin de faire la conception de l'élément de dalle sélectionné, il faut passer au mode DKM, onglet présent au haut de l'interface près de celui de StAr.

Les nœuds applicables sont montrés en vert. L'applicabilité du nœud est déterminée en fonction des conditions des règles disponibles. Ainsi, si des conditions ne permettent pas l'utilisation d'une technologie, le nœud reste gris.

Pour prendre une décision, il faut cliquer deux fois avec le bouton gauche de la souris sur le nœud représentant la technologie sélectionnée. Une fois que la décision est enregistrée, le nœud devient rouge, l'historique de design ajoute la décision prise à la liste déjà initialisée et des attributs sont ajoutés ou modifiés en fonction de la décision prise.

Afin de retourner en arrière sur les décisions prises, il est nécessaire d'annuler chacune des décisions non voulues. Ainsi, il faut cliquer deux fois sur le dernier nœud appliqué (en rouge), et ainsi de suite jusqu'au niveau désiré.

Afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble de l'arbre de décision, il est possible d'avoir un zoom différent en appuyant sur la touche « Ctrl » du clavier tout en tournant la roulette de la souris vers l'avant.

Il peut parfois être nécessaire de repositionner les nœuds de décisions afin de mieux visualiser les liens entre les nœuds. Il est possible de le faire en suivant les étapes suivantes :

1. Cliquer une fois sur le nœud à déplacer, il devient alors sélectionné (il est aussi possible de déplacer un groupe de nœuds en maintenant enfoncée la touche « Ctrl » en répétant l'étape 1);
2. Placer le curseur sur le (ou les) nœud(s) sélectionné(s), appuyez et maintenez enfoncé le bouton gauche de la souris;
3. Glisser la souris à l'endroit où le nœud, ou le groupe de nœuds, à la position voulue.

Certaines évaluations peuvent être consultées lors de la conception des éléments horizontaux. Au niveau d'abstraction des sous-systèmes horizontaux, il est possible de consulter une évaluation du prix au pied carré pour chacun des sous-systèmes en positionnant le curseur sur le nœud du sous-système en question. Après une seconde, une évaluation du prix est fournie dans une *infobulle*, basée sur les données de R.S. Means Company (2005), en fonction des portées de la baie et des charges surimposées¹³.

La profondeur de la structure estimée pour chacun des systèmes est fournie en plus de l'évaluation du prix. Deux valeurs sont fournies provenant de deux sources différentes soit la valeur obtenue de R.S. Means Company (2005) et les valeurs maximales et minimales obtenues à partir des tables disponibles dans Schodek (2004) et présentées en annexe 2.

Les suggestions sont fournies à l'aide de pages HTML qui sont consultables à partir de certains nœuds. Il est possible de consulter cette page en tout temps en cliquant sur le nœud avec le bouton droit de la souris. Cette page s'ouvre dans le fureteur par défaut (par exemple, Explorer ou Firefox) dans une fenêtre indépendante de celle du DKM et peut être conservée tout en prenant de nouvelles décisions ou même en passant en mode StAr.

¹³ Charge vive et charges mortes additionnelles (systèmes mécaniques, revêtements de plancher, etc.)

6.1.3. Connaissances implémentées

Trois étapes préalables au choix du sous-système horizontal ont été implémentées soit :

1. Détermination de charges mortes additionnelles à celle des charges de la structure elle-même.
2. Le choix du matériau (Acier, Bois et Béton)
3. Le choix du cheminement des charges vers les appuis (Unidirectionnel et bidirectionnel)

Trois sous-systèmes ont été implémentés partiellement. Ces sous-systèmes ont une méthode leur permettant de savoir s'ils peuvent être applicables en fonction des portées de la baie. Une évaluation du coût au pied carré est disponible pour ces sous-systèmes. Ceux-ci sont les suivants :

1. Dalle plate de béton (sans abaque);
2. Dalle nervurée de béton;
3. Dalle de béton sur tablier métallique composite supporté par des poutres en W.

Deux autres sous-systèmes ont été implémentés complètement. Pour ces sous-systèmes, il est possible de déterminer tous les éléments de base qui le composent et obtenir de l'assistance pour chacune de ces étapes. À la fin, une évaluation plus précise que celle effectuée au niveau d'abstraction du sous-système, du prix au pied carré est fournie. Cette évaluation est basée sur les prix individuels de chacun des éléments de base trouvé dans R.S. Means Company (2006)

1. Dalle de béton sur tablier métallique, supporté par des poutrelles d'acier ajourées et poutres en W;
2. Dalle plate de béton avec abaque.

Des pages HTML servant à fournir des informations et conseils sur les décisions à prendre ont été implémentées. Les pages concernent principalement le choix du matériau principal de la structure et le choix du sous-système horizontal. Voici les titres des pages HTML qui ont été implémentées et intégrées au prototype :

1. STRUCTURES UNIDIRECTIONNELLES VERSUS BIDIRECTIONNELLES;
2. STRUCTURES D'ACIER;
3. STRUCTURES DE BÉTON;
4. STRUCTURES DE BOIS;
5. DALLE DE BÉTON NERVURÉE;
6. DALLE DE BÉTON SUR TABLIER MÉTALLIQUE SUPPORTÉ PAR DES POUTRELLES AJOURÉES D'ACIER ET POUTRE EN I;
7. DALLE DE BÉTON ET TABLIER MÉTALLIQUE COMPOSITE SUR POUTRES EN I.
8. DALLE PLATE DE BÉTON;
9. DALLE PLATE DE BÉTON AVEC ABAQUE;
10. PLATELAGE DE BOIS SUR POUTRELLES ET POUTRES DE BOIS;

Deux autres pages HTML ont été réalisées pour montrer des graphiques sur lesquels une évaluation a été faite. Cette évaluation est celle de la masse d'acier (kg) d'armature au mètre carré. Ainsi, l'utilisateur peut évaluer lui-même la valeur à partir du graphique s'il ne fait pas confiance à la valeur qui a été retenue par le prototype lui-même. Les titres de ces pages sont ceux-ci :

11. ACIER D'ARMATURE : BAIE CARRÉE;
12. ACIER D'ARMATURE : BAIE RECTANGULAIRE.

Chacune de ces douze pages HTML est disponible en annexe 8.

6.2. Exemple d'une session de conception pour les sous-systèmes horizontaux

Dans cette sous-section, un exemple d'une session de conception utilisant les systèmes implémentés jusqu'à maintenant est présenté. Il est important de voir le potentiel que peut avoir une telle approche et ne pas se limiter aux seules connaissances qui y sont implémentées.

6.2.1. Conditions initiales

L'exemple se base encore ici sur le bâtiment abritant une caserne de pompier dont les esquisses ont été présentées au chapitre 4, page 79. Dans cet exemple, l'ingénieur tente de trouver une solution efficace pour un groupe de baies du 2^e étage, là où se trouvent les bureaux et le hall. Préalablement aux étapes qui sont montrées dans l'exemple de cette session de conception, les charges vives du plancher ont été définies selon le CNB 1995 (Conseil national de recherches du Canada & Québec (Province). Régie du bâtiment du Québec, 2001). Ainsi, selon ce code, l'article 2.1.3.1.1)d) spécifie que le bâtiment est visé par la partie 9 du code. Ensuite, l'article 9.4.1.1.1) spécifie que les éléments structuraux doivent respecter la partie 4. Finalement, selon la partie 4, le tableau 4.1.6.3 spécifie la charge applicable pour les bureaux au dessus du premier étage soit une charge d'utilisation applicable de 2.4 kPa.

6.2.2. Première exploration avec des baies de 3000 × 4000 mm

L'ingénieur définit des dimensions de baies en fonction de ce que l'architecte a laissé transparaître sur les plans de la caserne soit des baies de 3000 × 4000 mm. Une première exploration de solutions est faite à partir de ces dimensions.

La première étape consiste à déterminer les charges permanentes additionnelles qui affecteront les baies à concevoir. Ces charges excluent le poids propre de la structure elle-même. Dans la présente version, une charge par défaut est proposée à l'utilisateur. Il peut l'accepter ou la modifier. Il pourrait facilement être possible que chacune des charges, composant la charge permanente additionnelle totale, soit montrée séparément à l'utilisateur et qu'il puisse modifier leur valeur et ajouter des charges au besoin. Les charges montrées à l'utilisateur pourraient aussi être définies en fonction du type de bâtiment. Ce n'est toutefois pas le cas dans la présente version du prototype. Ainsi, pour la présente session, des charges additionnelles totalisant 1.45 kPa sont proposées par défaut et acceptées par la suite par l'utilisateur (Voir figure 42).

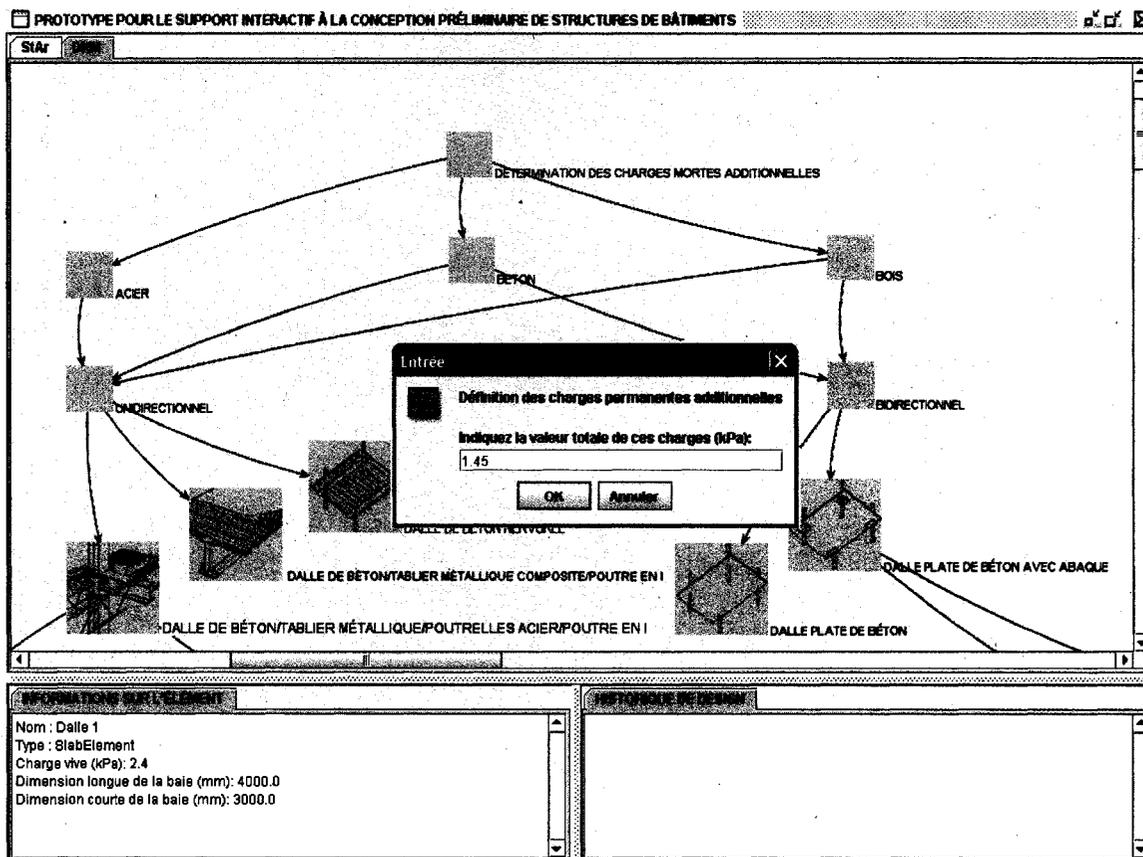


Figure 42 Session de conception : Détermination des charges permanentes additionnelles

L'utilisateur est appelé à choisir le matériau structural. En raison de la disponibilité des matériaux ou encore de la préférence du client ou de lui-même, l'ingénieur décide d'explorer seulement les sous-systèmes structuraux en béton et en acier. Il peut aussi consulter les pages HTML attachées aux nœuds décisionnels de chacun des matériaux pour consulter les informations disponibles au sujet de chacun des matériaux. Chacune de ces pages HTML est montrée en annexe 8 (figures 59 à 68). Dans un premier temps, l'ingénieur tente l'utilisation du béton. Par la suite, il choisit d'explorer les systèmes unidirectionnels ou bidirectionnels. Il peut décider de consulter la page HTML et conclure que les deux types de cheminement de charges sont possibles, car le rapport des portées est plus petit que 2. De plus, il est spécifié dans la page HTML que les deux sont économiques puisque la portée maximale de nos baies s'approche de 4.6 mètres (Voir annexe 8, figure 59). Toutefois, peu importe pour quel cheminement de

charges l'ingénieur décide de continuer l'exploration dans l'arbre de décision, aucun sous-système n'est possible puisque les sous-systèmes implémentés, qu'ils soient bidirectionnels ou unidirectionnels, sont économiques pour des portées excédant 6 mètres de portées (Voir figure 43).

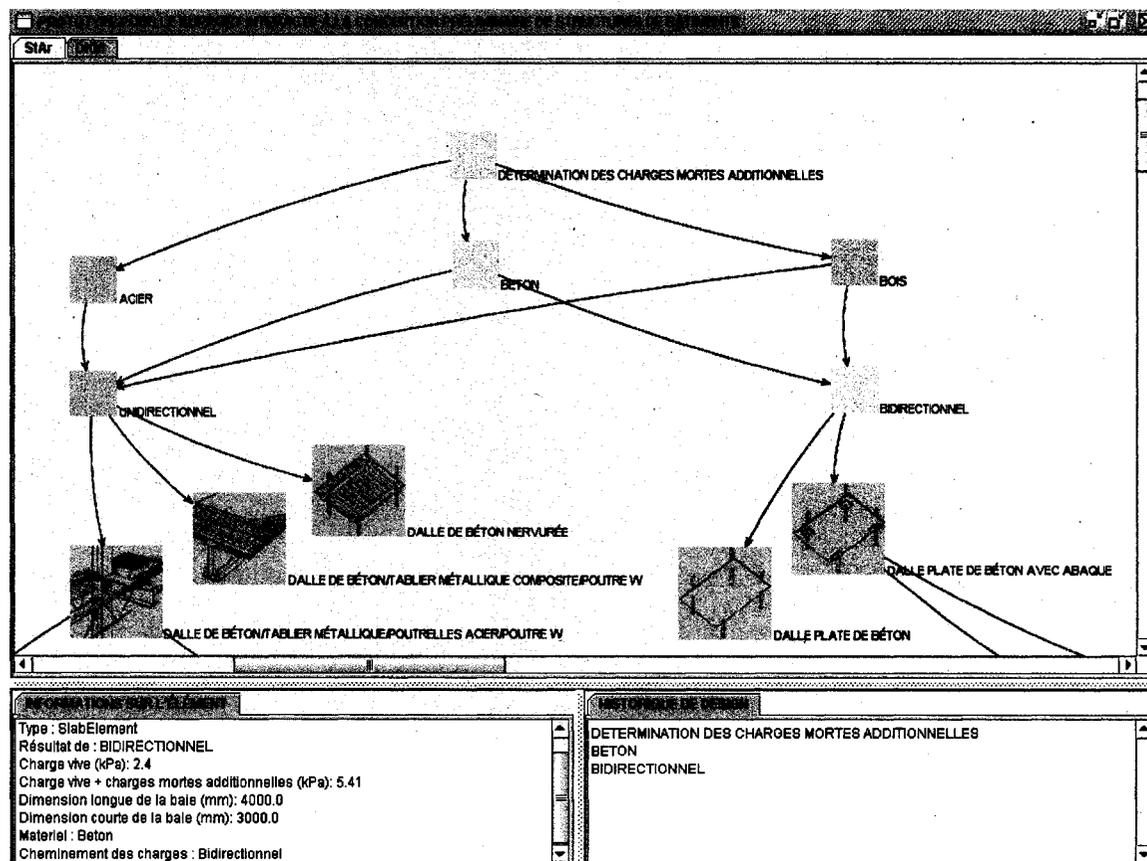


Figure 43 Session de conception : Aucun sous-système bidirectionnel (ou unidirectionnel) n'est possible pour une portée de 3 × 4 mètres

L'ingénieur décide donc de revenir en arrière sur sa décision d'utiliser du béton comme matériau structural. En double cliquant sur les décisions prises, il annule ses décisions prises et décide d'explorer les systèmes structuraux en acier.

Les sous-systèmes structuraux en acier utilisent rarement un cheminement bidirectionnel des charges, l'ingénieur choisit donc le nœud décisionnel

« Unidirectionnel » qui est le seul disponible. Il se retrouve devant les choix montrés en vert sur la figure 44.

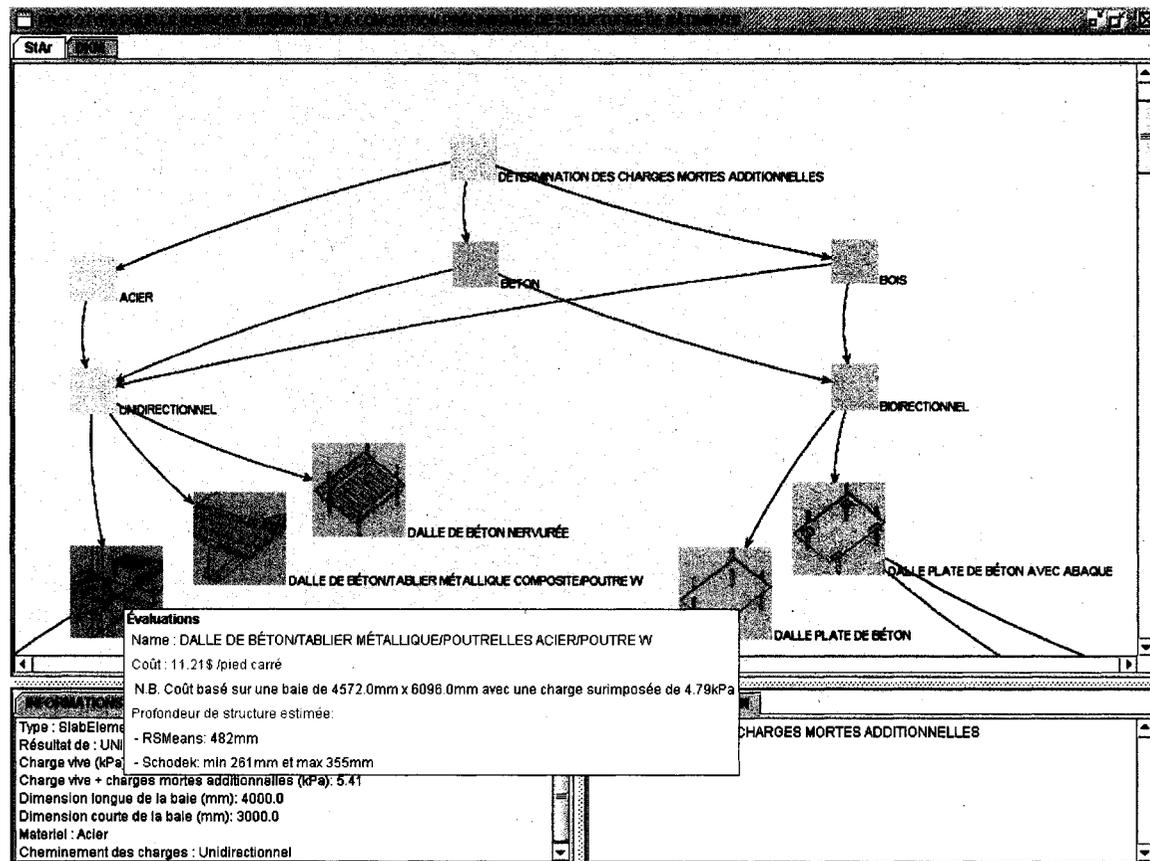


Figure 44 Session de conception : Deux choix possibles et évaluations dans une infobulle

Il est possible de consulter les évaluations du prix au pied carré en fonction des charges et des portées ainsi que l'évaluation de la profondeur estimée de la structure en passant le pointeur sur les nœuds décisionnels des sous-systèmes. Ainsi, un sous-système de dalle de béton sur tablier métallique supporté par des poutrelles d'acier ajourées et poutres en W fournit les évaluations montrées à la figure 44. De même, les évaluations fournies pour le sous-système de dalle de béton sur tablier métallique composite supporté par des poutres W sont montrées à la figure 45. Une différence importante peut être identifiée dans les profondeurs de structure estimées. Cette

différence est attribuable au fait que les sources de connaissances en conception préliminaire de structure ne sont pas toujours concordantes. Toutefois, une piste de solutions pouvant expliquer la différence peut être le fait que Schodek ne considère pas directement les charges puisque l'évaluation n'est basée que sur les portées de la baie, contrairement à RSMears. Il est aussi important de noter que les évaluations fournies donnent les conditions pour lesquelles le prix a été fourni puisque les connaissances ne permettent pas d'avoir un prix pour toutes les combinaisons possibles de portées et de charges.

Évaluations
Name : DALLE DE BÉTON/TABLIER MÉTALLIQUE COMPOSITE/POUTRE W
Coût : 18.6\$ /pied carré
N.B. Coût basé sur une baie de 4572.0mm x 6096.0mm avec une charge surimposée de 5.98kPa
Profondeur de structure estimée:
RSMears: Dalle 584mm
Schodek: min 222mm et max 355mm

Figure 45 Session de conception : Évaluations pour le second sous-système (prix et profondeur du sous-système)

En fonction de ces deux évaluations, l'ingénieur peut sélectionner une première solution plus économique avec une profondeur de structure plus importante et/ou une deuxième beaucoup plus coûteuse, mais ayant une profondeur de structure relativement plus petite. L'ingénieur décide ici de développer le système le moins coûteux puisque c'est souvent le prix qui est un facteur déterminant du choix du sous-système.

Ainsi, afin de détailler davantage la solution, une série de décisions peuvent être prises concernant notamment le type de béton à utiliser : densité normale ou faible. Des conseils simples peuvent être consultés, sous forme d'*infobulle*, en passant le curseur sur le nœud décisionnel tel que celui rattaché au nœud décisionnel « béton de densité faible ».

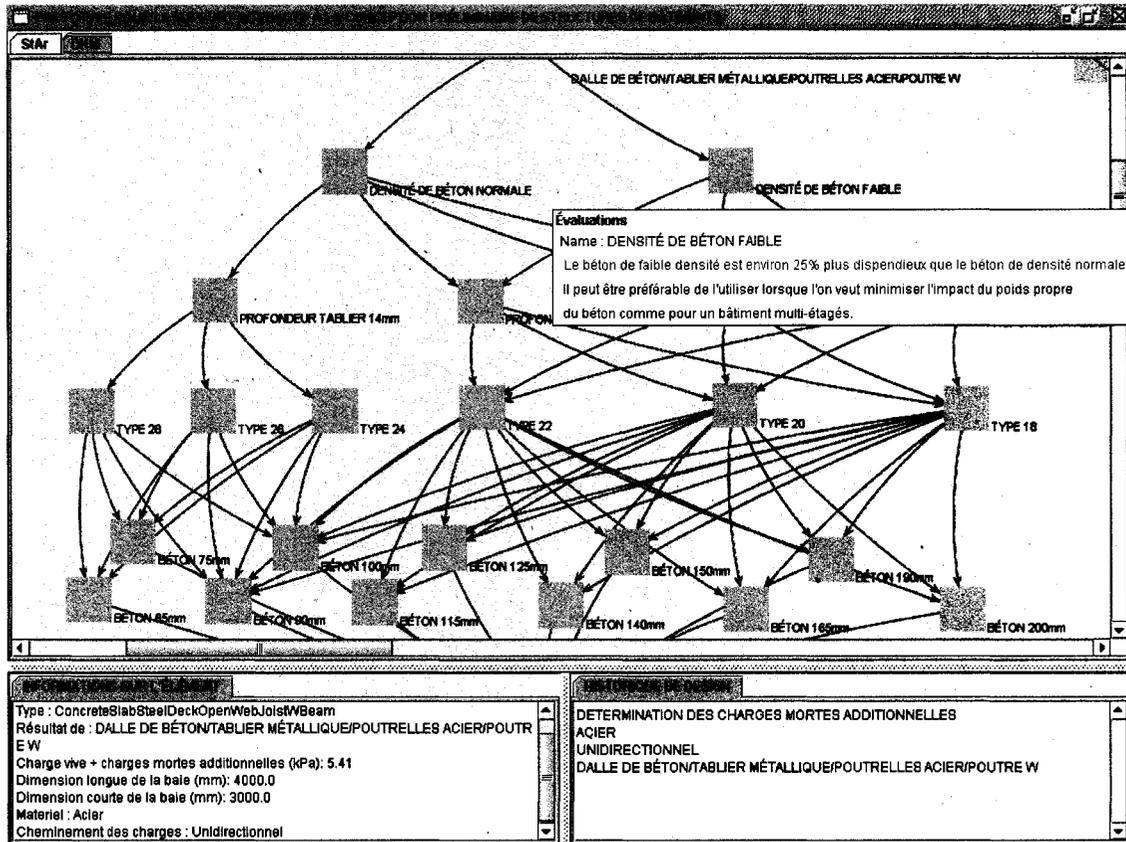


Figure 46 Session de conception : Conseil fourni à l'ingénieur à l'aide d'une *infobulle* pour le nœud décisionnel « Densité de béton faible »

L'ingénieur décide de tenter une solution qui utilise le béton de densité normale puisqu'il s'agit d'un bâtiment de faible hauteur, le poids propre ne devrait pas avoir une grande incidence. Toutes les profondeurs de tablier métallique s'offrent maintenant à lui. Comme première solution, il choisit de sélectionner un tablier métallique de 38 mm de profondeur, ce qui est le standard dans l'industrie. Ce type de connaissance n'est actuellement pas inclus dans la base de connaissance faute d'expérience pratique de l'auteur. Toutefois, ces connaissances pourraient être facilement ajoutées. Les solutions standards pourraient être montrées à l'utilisateur avec un chemin de décision mis en évidence. Vient ensuite le choix du type de tablier (épaisseur du tablier). Le type 22 correspond aussi au standard de l'industrie.

S'offrent ensuite à lui des épaisseurs de dalle qui respectent les choix faits précédemment soit la profondeur et le type du tablier (Voir figure 47). L'épaisseur de béton standard étant de 100 mm, il la sélectionne.

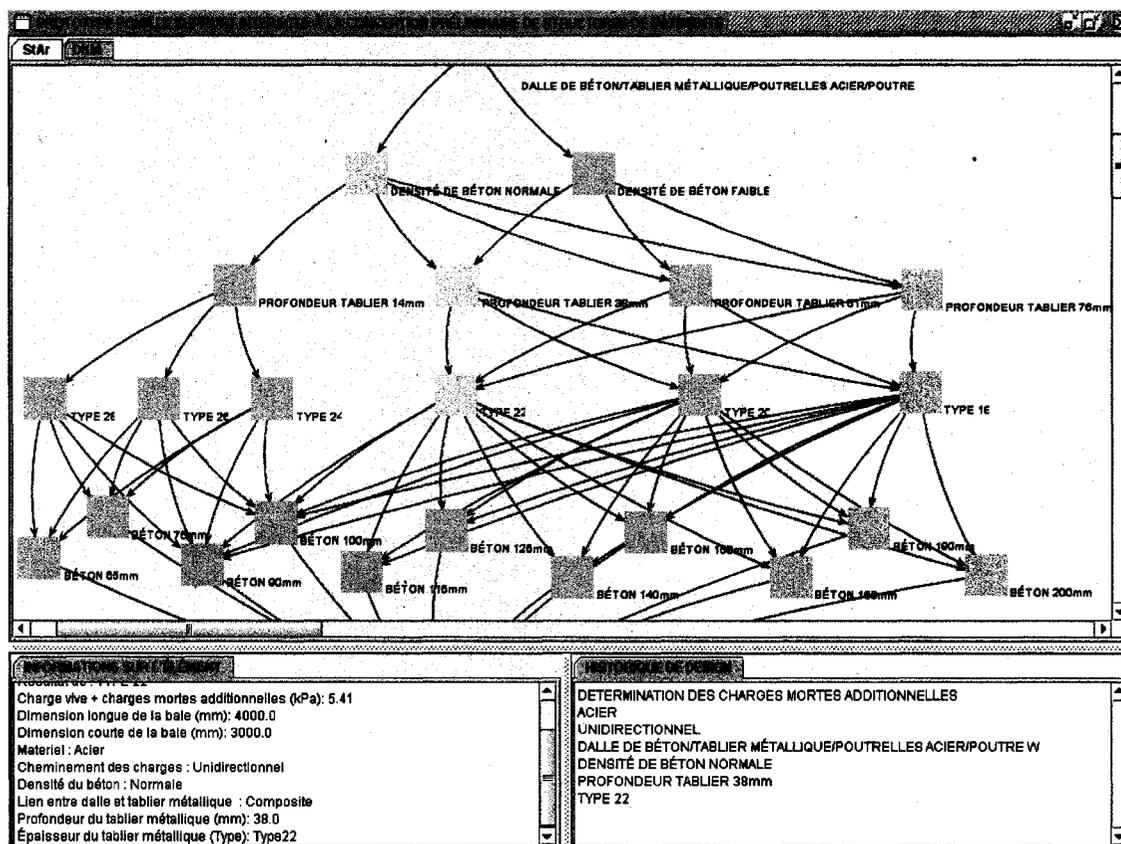


Figure 47 Session de conception : Choix d'épaisseur de dalle de béton en fonction des décisions déjà prise pour le tablier métallique

Vient ensuite le choix du sens des poutrelles. Un conseil peut être fourni à l'ingénieur directement dans la fenêtre de dialogue lui demandant d'effectuer un choix entre les deux portées de la baie soit: 3000 mm ou 4000 mm. Le conseil stipule qu'habituellement, il est plus économique de disposer les poutrelles sur le sens de la longue portée. Suivant le conseil fourni, l'ingénieur décide d'utiliser des portées de poutrelles de 4000 mm (Voir figure 48).

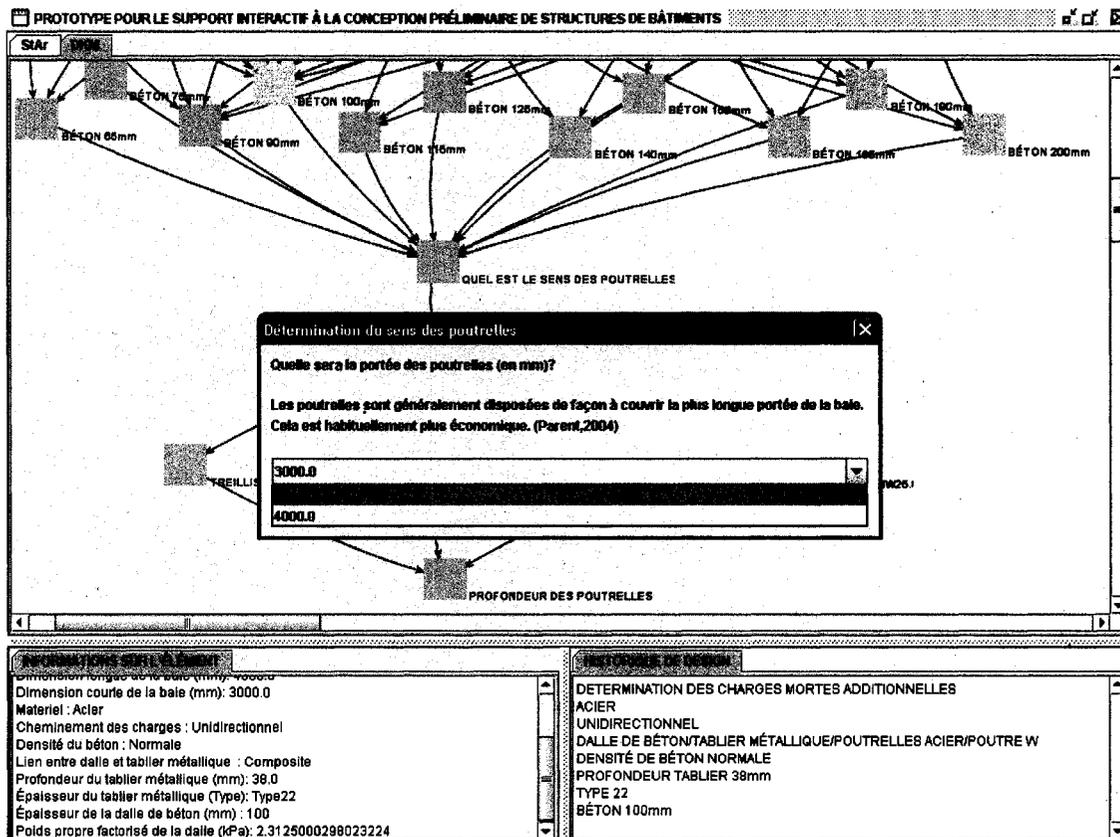


Figure 48 Session de conception : Choix du sens de la portée des poutrelles

Le nœud décisionnel suivant propose les espacements de poutrelles disponibles en fonction de l'épaisseur de la dalle, de la charge (en kPa) sur la dalle, de la dimension de la baie¹⁴ et de la charge maximale pouvant être reportée sur une poutrelle (22,5 kN/m). Ainsi, l'utilisateur a, pour le cas présent, un seul choix d'espacement. Ce choix est offert en fonction des possibilités réelles qu'il a. Ensuite, le choix du treillis vient déterminer la résistance finale de la dalle. Les types de treillis possibles à utiliser sont

¹⁴ Une baie doit être divisée en un nombre entier d'espaces qui doivent être près d'une valeur pour laquelle la résistance de la dalle est fournie (Voir annexe 2, Tableau XVIII). Ainsi, pour le cas présent, une valeur de 800 mm n'est pas possible puisque $3000 / 800 = 3.75$, donc 4 espaces. Mais $3000 / 4 \text{ espaces} = 750$. C'est donc pour cette raison que 750 mm est possible et non 800 mm.

montrés en vert. Puisque le treillis utilisant le moins d'acier est disponible, il est plus économique de l'utiliser.

Finalement, arrive le choix de la profondeur des poutrelles. Préalablement au choix d'une profondeur de poutrelle, une requête SQL, effectuée dans un tableau d'une base de données donnant le poids propre approximatif des poutrelles en fonction du ratio de la baie et de la portée à couvrir, permet de proposer une valeur à utiliser à l'ingénieur. Il peut accepter cette valeur ou la modifier. Ici, un poids propre de 0,22 kPa est proposé à l'utilisateur, ce qu'il accepte. La charge ainsi reportée sur la poutrelle, en fonction de toutes les charges du sous-système structural et de l'espacement s'établit à 11,91 kN/m. Des poutrelles d'une portée de 4 mètres et pouvant résister à cette charge sont proposées à l'utilisateur en ordre croissant de masse (kg) par mètre. Le choix le plus économique se retrouve donc en tête de liste (Voir figure 49).

Une première solution est finalisée. Une nouvelle évaluation du prix au pied/carré est calculée pour cette solution. Toutefois, les poutres en W sont définies dans une étape subséquente, étant vues comme un support à l'élément de dalle à concevoir, car elles font partie d'un autre type d'entités dans StAr. L'évaluation donnée calcule en détail le coût pour chacun des éléments choisis, mais ne peut fournir qu'une estimation du coût pour les poutres en W. L'estimation est réalisée en fonction de la profondeur estimée pour ce type de poutre donnée par Schodek. Cette évaluation ne considère pas les charges en jeu, seulement la portée. Un prix approximatif est ensuite associé pour une poutre de cette profondeur. Une évaluation plus juste pourrait être disponible une fois que ces poutres sont déterminées. Le prix excluant celui des poutres en W est de 6,39\$ / pied carré et le prix approximatif des poutres en W est évalué à 4,71\$ / pied carré pour un prix approximatif total égal à 11,10\$ / pied carré.

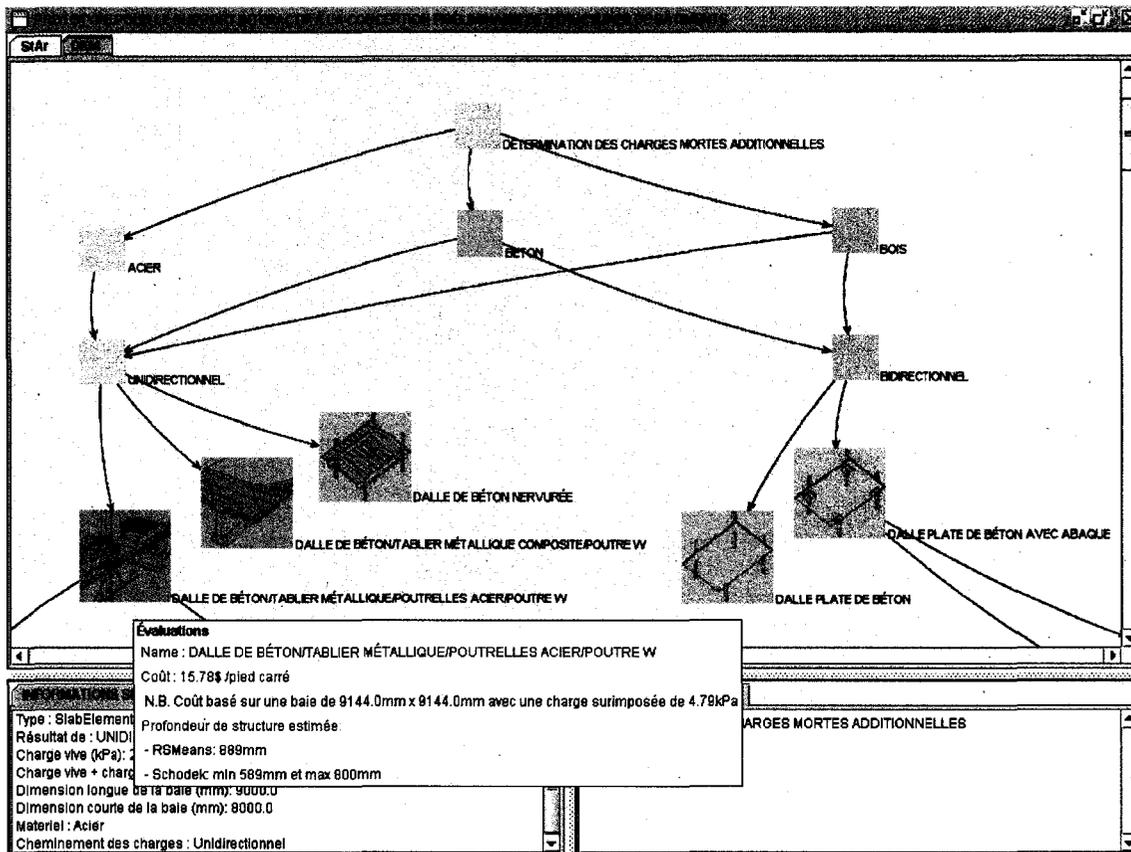


Figure 50 Session de conception : Évaluations pour une baie de 8000 × 9000 mm

<p>Évaluations Name : DALLE DE BÉTON/ABLIER MÉTALLIQUE COMPOSITE/POUTRE W Coût : 23.45\$ /piéd carré N.B. Coût basé sur une baie de 9144.0mm x 9144.0mm avec une charge surimposée de 5.98kPa Profondeur de structure estimée: RSMMeans: Dalle 889mm Schodek: min 501mm et max 800mm</p>	<p>Évaluations Name : DALLE PLATE DE BÉTON AVEC ABAQUE Coût : 15.25\$ /piéd carré N.B. Coût basé sur une baie de 9144.0mm x 9144.0mm avec une charge surimposée de 5.99kPa Profondeur de structure estimée: RSMMeans: Dalle 266mm et Abaque 228mm Schodek: min 225mm et max 300mm</p>
<p>Évaluations Name : DALLE DE BÉTON NERVURÉE Coût : 15.75\$ /piéd carré N.B. Coût basé sur une baie de 9144.0mm x 9144.0mm avec une charge surimposée de 5.98kPa Profondeur de structure estimée: RSMMeans: 356mm Schodek: min 360mm et max 450mm</p>	

Figure 51 Session de conception : Évaluations des trois autres systèmes applicables

Toutefois, après avoir exploré ces solutions seulement au niveau d'abstraction des sous-systèmes, l'ingénieur se rend vite compte que le coût au piéd carré est plus élevé

que précédemment. Toutefois, les prix montrés à ce niveau de détails ne peuvent servir que d'indication générale pour savoir quel système pourrait être préférable de développer. Ainsi l'ingénieur peut se rendre compte que les sous-systèmes de poutre composite (23,45\$ / pied carré) est beaucoup plus cher que celui de dalle de béton sur tablier métallique supporté par des poutrelles (15,78\$ / pied carré).

Il pourrait décider de détailler davantage une seconde solution avec le même sous-système que pour la baie de 3 mètres par 4 mètres. Ainsi, en réalisant encore des choix standards, densité de béton normale, un tablier métallique de 38 mm, type 22 et une dalle de béton de 100 mm d'épaisseur, différents choix d'espacements de poutrelles pourraient être proposés à l'utilisateur (Voir figure 52).

L'ingénieur pourrait choisir l'espacement le plus grand (2700 mm c/c), ce qui facilite habituellement le positionnement des systèmes mécaniques. Finalement, les poutrelles choisies pourraient être d'une profondeur de 750 mm et l'évaluation finale du coût s'élèverait à 11,11\$ ce qui est très acceptable.

6.2.4. Solution adoptée

La deuxième option explorée, soit celle utilisant une baie de 8000 × 9000 mm, est préférée car les coûts de construction de plancher, bien que préliminaires, sont similaires à l'option 1 correspondant à la baie de 3000 × 4000. De plus, d'autres avantages peuvent être notés soit l'absence de colonnes dans le garage, ce qui augmentera la flexibilité de l'espace, une diminution des coûts de matériaux et de construction pour les colonnes et fondations et une réduction du nombre d'assemblages requis, ce qui diminue aussi les coûts de construction.

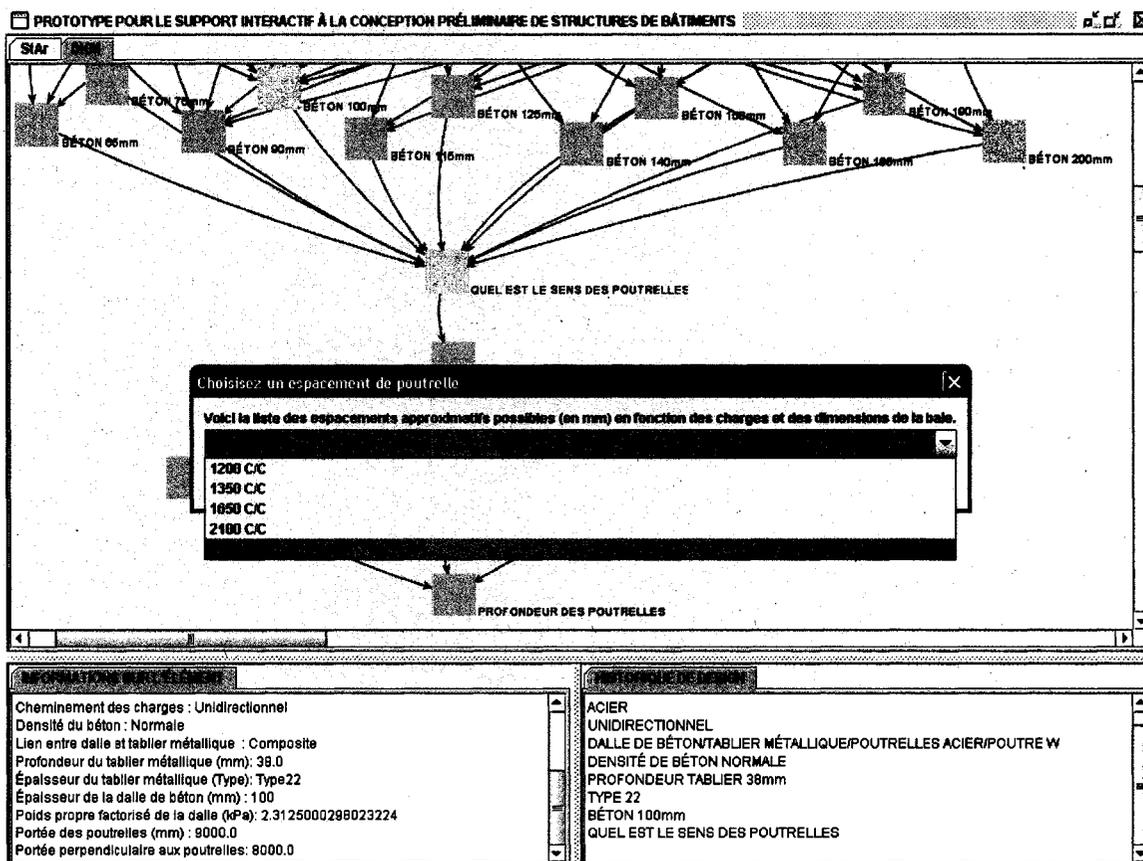


Figure 52 Session de conception : Choix de l'espacement des poutrelles

La solution finale adoptée par l'ingénieur est donc d'aller de l'avant avec une solution d'une dalle de béton de 100 mm d'épaisseur dont la densité est normale, avec un tablier métallique d'une profondeur de 38 mm et de type 22. Ensuite, les 4 poutrelles, également espacées, auraient une portée de 9 mètres et une profondeur de 750 mm.