

## Recherches menées à l'Université de Liège dans le domaine du béton en 2008-2009

*Prof. dr. ir J-C. Dotreppe, Prof.dr.ir. J.-M. Franssen,  
Dr.ir.H. Somja (BEG-INSA Rennes), Dr.ir. Chu Thi Binh  
Ir.A.Rémont (BEG), Ir.M. Hérode (BEG)  
Département ArGEnCo, Secteur Structural Engineering - Concrete Constructions*

*Prof. dr. ir. L. Courard,  
Dr. ir. M. Martin, ir. F. Michel  
Ir. A Van der Wielen  
Département ArGEnCo, Secteur Génie Minéral, Matériaux & Environnement*

---

### **Etude du comportement à froid et sous conditions d'incendie de colonnes réalisées en tubes métalliques remplis de béton auto-plaçant**

Cette recherche concerne le comportement à froid et sous conditions d'incendie de tubes métalliques entourant un autre profilé et remplis de béton auto-plaçant. Cette recherche est effectuée dans le Département de Génie Civil de l'ULb et dans le Département ArGEnCo de l'ULg. Elle a été réalisée en liaison avec une thèse de doctorat effectuée par une étudiante vietnamienne. Elle a été subsidiée par le FRFC Les études rhéologiques et les essais à froid sont réalisés à l'ULB, tandis que les essais à chaud et les simulations sont réalisés à l'ULg.

On s'intéresse aux nouvelles potentialités résultant de l'utilisation du béton auto-plaçant. Pour que ce matériau soit appropriée dans le cas traité ici, il faut que les dimensions des profilés soient telles que l'écoulement du béton frais soit partiellement entravé.

On a d'abord effectué un état de la question concernant les colonnes faites de tubes en acier remplis de béton (CFSHS columns – concrete filled steel hollow section columns).

Le code de calcul SAFIR développé à l'ULg pour la simulation du comportement structural à température ordinaire et sous conditions d'incendie est utilisé pour simuler des résultats d'essais expérimentaux présentés dans la littérature, et quelques calibrations ont été proposées.

En utilisant ce modèle, la charge ultime à température ordinaire des colonnes CFSHS est calculée en considérant différents paramètres. On examine essentiellement des tubes de petites dimensions avec un pourcentage élevé d'armatures ou contenant un autre profilé métallique. Ce type d'élément n'est pas couvert par les Eurocodes. Des simulations ont été réalisées en vue d'examiner si les méthodes classiques de l'Eurocode 4 (EN 1994-1-1) sont applicables à ce type de section et de voir quelle courbe de flambement est la plus appropriée.

On décrit ensuite la recherche expérimentale réalisée à l'ULg relative au comportement au feu des colonnes CFSHS. Les prototypes suivants ont été testés ( $L = 3150$  mm pour les essais à chaud) :

- 4 tubes circulaires concentriques remplis de béton
- 1 tube circulaire entourant 1 tube carré, remplis de béton
- 1 tube circulaire entourant 1 profilé HEB, remplis de béton
- 1 tube carré entourant 1 profilé HEB, remplis de béton

Les essais expérimentaux ont été simulés par SAFIR, tant en ce qui concerne la répartition de la température à l'intérieur des éléments que le comportement structural. Un des objectifs de ces calculs était de vérifier si les propriétés thermiques et mécaniques du béton auto-plaçant sont proches de celles du béton ordinaire.

En vue de fournir aux bureaux d'études des outils pratiques de dimensionnement, une formule permettant d'évaluer la résistance au feu des colonnes CFSHS a été proposée. Le domaine d'applicabilité a été étendu par rapport aux études précédentes.

### **Recherche d'une formulation pour le calcul au flambement des colonnes en béton à hautes performances soumises à flexion et à compression**

Suite aux progrès de la technologie du béton, les constructeurs utilisent de plus en plus les bétons à hautes performances dans le domaine du bâtiment et il en résulte l'apparition de colonnes très élancées avec de plus grands risques d'instabilité. L'objectif de cette étude est d'examiner les possibilités d'extension et d'amélioration des formulations simplifiées existantes ou de rechercher une nouvelle formulation, pour estimer plus correctement la charge de ruine des colonnes soumises à flexion et compression.

Dans ce travail, l'étude a porté sur une typologie de référence unique: une colonne bi-appuyée, soumise à une charge axiale et centrée. La section carrée est armée avec une densité de 1,5 %. Afin de couvrir les différents rapports effort normal – moment de flexion possibles, la colonne est étudiée avec une déformée initiale sinusoïdale d'amplitude croissante. L'étude a été répétée pour différentes longueurs produisant une gamme d'élançements allant de 0 à 140 couvrant largement l'ensemble des cas pratiques.

Les résultats de référence ont été obtenus grâce au logiciel éléments finis FINELG, capable de résoudre des problèmes structuraux géométriquement et matériellement non-linéaires sous charges statiques, ou encore des problèmes d'instabilité.

On a tout d'abord examiné les limites des méthodes de calcul existantes: la méthode de la courbure nominale et la méthode de la rigidité nominale, toutes deux dérivées de la méthode de la colonne-modèle décrite dans l'Eurocode ENV 1992-1-1(1991). Les deux méthodes donnent de bons résultats pour les élançements faibles à modérés (jusque  $L/h = 20$ ). Pour les valeurs de  $L/h$  supérieures à 20, elles sont trop sécuritaires.

L'analyse montre que l'imprécision provient d'un mauvais calcul de l'amplification non linéaire pour les grands élançements, découlant d'une hypothèse incorrecte sur l'état de déformation à la ruine.

La première procédure développée par les auteurs adopte le même principe que la méthode de la rigidité nominale, mais en enrichissant les hypothèses relatives à l'état de déformation au moment de la ruine, afin de mieux estimer l'amplification non linéaire des sollicitations. Cette méthode donne de bons résultats pour  $L/h \leq 20$ . Pour les grands élançements, il reste une zone pour laquelle la méthode fournit des résultats trop sécuritaires.

Une deuxième procédure a donc été développée, qui permet de fournir une réponse satisfaisante dans toutes les zones. La démarche consiste à approcher la courbe d'interaction (M, N) à partir de points caractéristiques. Dans ce cas, la courbe est approchée à l'aide de 3 points :

- la charge critique sous compression pure ( $M = 0$ )
- le moment résistant de la section de béton armé ( $N = 0$ )

- le couple (M, N) correspondant à la cassure que l'on peut observer dans les courbes d'interaction.

Le diagramme bilinéaire obtenu donne des résultats satisfaisants et sécuritaires pour toutes les valeurs du couple (M, N).

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Bureau d'Etudes GREISCH, dans le cadre de deux travaux de fin d'études successifs, dont l'un a obtenu le Prix du Groupement Belge du Béton.

## **Amélioration de la qualité texturale des bétons à base de liants hydrauliques**

L'aspect extérieur du béton influence l'appréciation que nous portons au matériau et, indirectement, à la structure qui en est faite. La peau protège également le béton contre toutes les agressions de l'environnement. Cette double fonction – esthétique et durabilité – est appréciée sur base de critères à la fois subjectifs et objectifs.

Comme tous les matériaux manufacturés, les bétons peuvent présenter de légères variations d'aspect liées aux matériaux constitutifs, aux coffrages, aux paramètres de fabrication et à l'agressivité du milieu extérieur. Ces différences d'aspect peuvent être considérées comme négligeables d'un point de vue purement technique, à condition d'être légères, mais des écarts trop sensibles de l'aspect entre éléments et/ou une répartition inadéquate de ceux-ci, peuvent influencer de manière défavorable l'esthétique d'un ouvrage et être à la base de litiges interminables en l'absence de prescriptions acceptées de tous et contrôlables de manière non équivoque.

Le projet de recherche vise à mieux comprendre l'influence des divers paramètres de composition et mise en place sur l'aspect des parements en bétons. Les travaux sont orientés sur l'étude de l'influence de la réutilisation des coffrages sur l'aspect des parements en bétons. Et sur le développement d'une méthode de formulation de béton de caractéristiques prédéfinies.

Cette recherche est soutenue par la Région Wallonne et le C.S.T.C dans le cadre d'un First Post-Doc.

## **Influence de la réutilisation des coffrages en bois OSB et contreplaqué marin sur la couleur et la texture des parements en béton**

Le but de ce travail de fin d'études consistait à déterminer l'influence de la réutilisation des coffrages sur la teinte et la texture des parements en béton. Trois études expérimentales ont donc été menées dans le cadre de ce travail : une usure mécanique et chimique des coffrages par applications répétées d'une couche de mortier sur les panneaux de coffrage, une usure purement chimique par immersion des échantillons de coffrage dans un bain contenant une solution et, enfin, une étude descriptive concernant l'influence de l'état de surface des coffrages sur le rendu des parements en béton.

La première étude a donné les résultats les plus intéressants. Celle-ci consistait à user des plaques de coffrages en bois OSB et contreplaqué marin par applications successives d'une couche de mortier. Chaque panneau a ainsi été « réutilisé » un certain nombre de fois, allant de 1 à 50 pour les coffrages OSB et de 1 à 120 pour les coffrages bakélisés. Les coffrages ont été protégés avant usure à l'aide, soit d'une huile minérale soit d'une huile végétale. Une fois les échéances atteintes, les coffrages ont été remontés et un béton a été coulé dans chacun d'eux.

Les mesures colorimétriques effectuées sur les parements en béton ont montré que la teinte du béton évolue encore après décoffrage pendant un certain temps et se stabilise par la suite. Nous n'avons malheureusement pas pu déterminer la durée exacte de cette période mais nous savons qu'elle dure au maximum 42 jours. Ces mesures ont également montré que l'évolution de la luminance en fonction du nombre de réutilisations des coffrages peut se décomposer en 3 zones : une première zone correspondant à une mise en place des propriétés des panneaux de coffrages, un palier de luminance correspondant à l'intervalle optimal d'utilisation du coffrage et enfin une augmentation brusque de la luminance traduisant l'effet de l'usure des panneaux de coffrages. Nous avons également observé que la qualité du démoulant utilisé pouvait avoir un impact important. En effet, celle-ci augmente ou diminue la longueur du palier, ce qui peut entraîner des conséquences économiques et écologiques importantes. Enfin, nous avons pu relier expérimentalement la luminance des parements en béton à l'absorption des coffrages correspondants, ce qui n'avait pas encore été fait jusqu'à présent.

En ce qui concerne la texture par contre, les résultats sont moins probants. En effet, selon le mode d'usure des coffrages étudié lors de ce travail, il ressort qu'il ne semble pas y avoir d'évolution du bullage des parements en béton avec les réutilisations successives des coffrages. Il n'y a pas non plus d'évolution de la taille des bulles. De plus, aucun lien n'a été observé entre le bullage et la tension de surface du coffrage. Pour les deux huiles utilisées, minérale et végétale, une différence de comportement au niveau du bullage est observée selon la combinaison huile-coffrage utilisée : les meilleurs résultats sont observés pour les combinaisons coffrages OSB - huile végétale et coffrages bakélisés - huile minérale.

Enfin, la troisième étude nous a permis de déterminer l'importance du raclage de l'excédent d'huile pour le bullage des parements en béton. Nous avons effectivement remarqué que racler l'excès d'huile donne de bien meilleurs résultats au niveau du bullage. Par contre, il ne semble pas avoir d'effet à long terme sur la teinte des parements.

Ce travail a fait l'objet d'un TFE présenté par Cécile GOFFINET et Nathalie MIGEOTTE.

### **Méthodes non-destructive pour la détection de délaminations dans les tabliers de ponts en béton**

Pour détecter d'éventuelles délaminations dans les tabliers de ponts en béton, les techniques non destructives (NDT) permettent une inspection régulière des dalles et une détection des anomalies sans causer de dommages à la structure.

Dans le cadre de cette étude, douze échantillons ont été réalisés, présentant diverses anomalies horizontales simulant des délaminations à l'interface entre une dalle en béton et un mortier de réparation. Ces délaminations artificielles ont été créées via l'introduction de différents défauts : feuille de plastique, polystyrène expansé ou huile de démoulage. Les différentes dalles ont alors été scannées avec un radar à hautes fréquences (2.3 GHz) selon les méthodes complémentaires de Common Offset (CO) et de Common Mid Point (CMP).

Une méthode spécifique a été développée pour déterminer la vitesse des ondes électromagnétiques dans le béton et la profondeur des défauts à

partir des mesures réalisées en CMP. Un programme de visualisation en 3D a également été créé pour obtenir une vision tridimensionnelle de la dalle à partir des profils mesurés en CO sur celle-ci.

La visibilité des défauts insérés dépend fortement du matériau dont il est constitué. Le polystyrène expansé est très visible, tandis que la feuille de plastique est juste détectable et l'huile complètement invisible. Les autres facteurs d'influence sont l'extension latérale du défaut et son épaisseur. Par contre, l'épaisseur du mortier de réparation ne semble pas avoir d'influence sur la visibilité des défauts.

Ce travail a fait l'objet d'un TFE présenté par Audrey van der WIELEN.