



Banche Sécurité Béton Injecté (BSBI)

REX MAUGUIO _____

Auteur
J.P. CARRIO - P3G INGÉNIERIE

Rédaction - Mise en page
Christophe PERROCHEAU - Dac Communication
Photos
Eric BERNATH et Louise HARVEY

**Plan Construction
et Architecture - Chantier 2000** - Mars 1998

Directeur de la publication
Olivier PIRON
Directeurs de rédaction
Guy GARCIN et Hervé TRANCART
Communication
Ellen OUAZAN
Arche de la Défense
92055 PARIS LA DÉFENSE Cedex 04
Tél : 01 40 81 24 33 - Fax : 01 40 81 23 82

Sommaire

► FICHE TECHNIQUE.....	p 3
► SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION.....	p 4
► PROTOCOLE D'EXPÉRIMENTATION	p 5
► DÉROULEMENT DE LA DÉMARCHE	p 6
Les choix techniques	p 6
Le procédé	p 6
Constats liés à la mise en oeuvre	p 6
Moyens mobilisés	p 8
Analyse des résultats	p 8
► ÉVALUATION DE LA DÉMARCHE - PERSPECTIVES.....	p 11
Les points d'amélioration	p 11
Les perspectives	p 12
► LES ESSAIS MENÉS PAR L'ENTREPRISE	p 13

Fiche technique :

REX MAUGUIO

► RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIMENTATION

Le projet vise à remplacer le remplissage en partie haute des banches traditionnelles par une injection en partie inférieure du coffrage (dénommé Banche Sécurité Béton Injecté), au moyen d'un béton pompé directement d'un camion malaxeur. Il s'agit au préalable de régler les problèmes technologiques posés par l'adaptation des matériels et du béton existant puis de valider sur chantier la solution des points de vue technique, économique et organisationnel.

► OPÉRATION SUPPORT

L'opération se situe à Manguio (Hérault); elle se compose d'un bâtiment collectif de 27 logements en R+3 sur garages. Le chantier a été réalisé en 1996.

► PARTENAIRES DE L'EXPÉRIMENTATION

Maître d'ouvrage

OPHLM de l'Hérault

Maîtrise d'œuvre

Brugvin, architecte
Bousquet, BET

Entreprise générale

Méridionale de travaux

Industriels

Outinord, fabricant du coffrage
Schwing Stetter, fournisseur du béton

Recherche

Ecole des Mines d'Alès

Contact

Jean-Pierre PLANE - Méridionale de Travaux
Immeuble Le Triade - Bâtiment 1 - BP 1187
215, rue Samuel Morse
34009 MONTPELLIER Cédex
Tél : 04 67 15 73 00 - Fax : 04 67 65 38 76

► ÉVALUATION DE L'EXPÉRIMENTATION

J.P CARRIO - P3G INGÉNIERIE
Le Puesch Radier
rue Montels l'Eglise
34970 LATTES
Tél : 04 67 92 42 09 - Fax : 04 67 92 42 08

Synthèse de l'évaluation

Testée à Manguio (Hérault) sur un immeuble de vingt-sept logements, la Banche Sécurité Béton Injecté (BSBI) entend améliorer la sécurité et les conditions de travail du coffreur tout en augmentant la qualité de réalisation.

Le procédé consiste à remplir la banche par la partie inférieure du coffrage à l'aide d'un béton directement pompé d'un camion malaxeur. Le béton est introduit en pied de banche grâce à une pompe à injection équipée d'une vanne à couteau. Des canalisations métalliques de 100mm de diamètre acheminent le béton en sortie de pompe. Après aiguillage, des canalisations souples assurent le raccordement avec les buses d'injection dans les banches. Le béton, très fluide, monte alors dans la banche sans emprisonner l'air et confère ainsi aux murs des parements de très bonne qualité. Le système présente potentiellement d'autres avantages, tels la mise en oeuvre rapide et réduite à deux compagnons ou la libération de la grue de l'opération de coulage. Des essais pré-opérationnels ont porté sur l'équipement des coffrages métalliques (Outinord) : pipes d'injection fixées directement sur la banche ou les abouts, accessoires destinés à l'étanchéité et à la reprise des poussées ou tiges hautes accessibles, manoeuvrables depuis le plancher par des clés à pipe. Un point important : l'étanchéité du coffrage découle d'une parfaite préparation des talonnettes de calage et de l'adjonction de joints mousses périphériques.

L'efficacité du système est tributaire de la qualité du béton qui doit être proche en résistance d'un B 25 standard et suffisamment fluide pour présenter un comportement équivalent à celui d'un liquide lors de la mise en oeuvre. Le procédé nécessite plusieurs opérations avant l'injection : contrôle du slump (entre 12 et 14) à l'arrivée du béton, adjonction d'un fluidifiant, malaxage, puis nouveau contrôle. Il faut donc assurer une parfaite coordination entre l'arrivée du béton sur le site et le cycle de coffrage, ce qui suppose une fiabilisation du processus de commande et de livraison.

Le nettoyage du réseau de canalisations conditionne le bon fonctionnement du système. Il s'effectue en refulant le béton contenu dans les tuyaux vers la zone de coulage, grâce à une boule en caoutchouc spongieux, projetée par de l'air sous pression.

Le chef de chantier (Mérindionale de travaux) et deux pompistes ont suivi un programme de formation destiné à les familiariser avec les aspects

liés à l'utilisation de la pompe et à la mise en place des tuyaux. Conformément aux objectifs de départ, la BSBI a démontré plusieurs améliorations en matière de sécurité. Ainsi, la manipulation de la benne à béton, jugée très pénible (inertie de deux à trois tonnes), est supprimée. De même, en phase d'injection la montée sur les passerelles est circonscrite à un seul compagnon pour déterminer l'arrêt de remplissage de l'arase supérieure. Relié par radio au pompiste, il ordonne l'arrêt du remplissage de la banche au moment voulu.

Le principe d'injection permet de ramener la hauteur de passerelle à mi-banche, tout en assurant un suivi du remplissage en toute sécurité. Une étude complémentaire pourrait amener à la suppression des protections hautes. Tentative avortée sur cette opération : le calage au fil à plomb de la banche et les crochets d'élingue imposent encore de travailler en partie haute du coffrage. L'utilisation de ce coffrage se traduit aussi par la suppression presque totale des coulures de béton, la conception du matériel qui évite au serrage les coups de marteau. Enfin, la phase de vibration, génératrice de nuisances sonores, ne s'applique qu'au réglage du niveau d'arase et est donc très brève; elle est assurée par des vibreurs extérieurs placés en tête de banches qui suppriment l'aiguille vibrante.

Le procédé a été testé sur une toute petite opération devant s'insérer dans le contexte et le style urbain d'une petite ville, et présentant une certaine complexité architecturale. L'opération était-elle mal adaptée pour expérimenter le procédé? Les choix techniques n'ont pas permis d'utiliser suffisamment la banche pour porter un jugement économique fiable. Cependant, si la phase d'injection elle-même est très rapide, il convient d'y imputer les tâches hors-coffrage (branche des buses de raccordement, mise en place des tuyauteries, temps d'essais et de malaxage du béton).

Des améliorations restent à apporter; elles sont liées au nettoyage des circuits de distribution, au fonctionnement bruyant de la pompe, ou à la mise en place des talonnettes et des joints périphériques dont dépend l'étanchéité du coffrage. La très bonne qualité des parements est, quant à elle, incontestable malgré quelques bullages consécutifs à la qualité des bétons (très variable) et aux reprises de coulage; c'est, avec la sécurité et l'amélioration des conditions de travail un des acquis de l'expérimentation.

Protocole d'expérimentation

Les chantiers de gros oeuvre réalisés en béton banché montrent que le coulage du béton dans les coffrages verticaux constitue une tâche pénible et encore dangereuse :

- travail en hauteur sur une passerelle;

double rupture de charge inhérente à la mise en oeuvre traditionnelle lors du remplissage de la benne et de son vidage dans le coffrage. Elle évite ainsi le phénomène de ségrégation du béton.

Les résultats escomptés se manifestent sur



- manutention d'une benne à béton d'une masse de 2 à 3 tonnes;

- travail salissant et fatigant, en partie à l'origine de la saleté sur le chantier (sol et matériel).

Aussi l'objectif de l'expérimentation est d'étudier et d'expérimenter une méthode consistant à introduire et pousser le béton par le bas des coffrages.

Ce nouveau système de banches peut permettre de faire évoluer les tâches de coffrage : la sécurité peut être améliorée, l'intérêt du travail augmenté, une grande partie des tâches dangereuses supprimées. L'étude et la conception de la banche ont fait travailler en commun des entreprises de bâtiment et des industriels fabricants de coffrages, de pompe à béton et de béton. L'objectif est de mettre au point la chaîne de tâches permettant de faire transiter le béton du camion malaxeur, directement dans le coffrage, la manutention intermédiaire s'effectuant au moyen d'une pompe, de tubulures et des divers accessoires. L'injection directe du béton dans la banche supprime la

plusieurs points. Tout d'abord par une modification de l'organisation du chantier (cycles) et une simplification du matériel permettant une réduction du délai. Ensuite par une modification de la durée des tâches et une amélioration de la qualité visant à une baisse du prix de revient. Enfin par une amélioration de la sécurité et de la propreté des chantiers et une diminution de la pénibilité des tâches, avec pour conséquence une revalorisation des postes de travail.

Les critères d'évaluation fixés avec les différents représentants de l'entreprise et la maîtrise d'oeuvre et de coordination de sécurité ont porté :

- au plan socio-organisationnel sur les rapports des compagnons et de la maîtrise de chantier ainsi que sur la compilation des rapports et observations diverses du coordonnateur de sécurité et des services de l'OPPBTP.

- au plan économique sur les rapports journaliers d'injection et sur les relevés mensuels d'évolution de temps unitaire de main d'oeuvre au m² de coulage de mur.

Déroulement de la démarche

► LES CHOIX TECHNIQUES

L'opération comporte vingt-sept logements réparés en un rez de chaussée et trois niveaux habitables bâtis sur un sous sol enterré. Elle se situe dans l'agglomération de Mauguio, ville située à la périphérie de Montpellier. La structure comprend des éléments verticaux en béton banché et des planchers dalles coulés en place. Les choix techniques suivants ont été arrêtés :

- les soubassements du sous sol, qui nécessitent un rabattement de nappe, sont réalisés traditionnellement, les murs banchés étant coulés à la benne; des panneaux de béton préfabriqués sont mis en place contre les existants;
- à partir du rez de chaussée, les refends béton sont réalisés par injection. Compte tenu de leur dimension, quelques trumeaux sont coulés à la benne et certains remplissages de façade (fond de loggias) sont réalisés en bloc creux de béton;
- les planchers dalles sont coulés à la benne.

► LE PROCÉDÉ

Le béton

Il doit s'agir d'un béton pompable, proche en résistance d'un B25 standard, et suffisamment fluide pour présenter un comportement équivalent à celui d'un liquide lors de la mise en oeuvre. Après études avec des bétonniers, l'entreprise a effectué les mises au point suivantes quant aux qualités requises du béton :

- augmentation de la quantité de fines dans le béton;
- rajout d'un super plastifiant pour limiter la quantité d'eau (la résistance du béton étant proportionnelle au rapport eau/ciment);
- ajout du super plastifiant juste avant l'injection du béton dans la banche.

Le procédé requiert plusieurs conditions pour pouvoir s'exprimer pleinement : un béton de qualité constante de la part de la centrale, le contrôle systématique du béton à l'arrivée sur le chantier (contrôle slump de 12 à 14), l'adjonction du fluidifiant après contrôle, le malaxage, et un nouveau contrôle avant l'injection. Il faut donc assurer une parfaite coordination entre l'arrivée du béton sur le site et le cycle de coffrage, ce qui suppose une fiabilisation du processus de commande et de livraison. D'autant plus que ce béton est plus onéreux qu'un béton courant.

La pompe

La pompe à béton, dont la pression de refoulement est établie par la méthode Shwing, doit faire l'objet d'une implantation étudiée de manière à pouvoir répondre à plusieurs fonctions : recevoir le béton, procéder aux essais slump, distribuer le béton très rapidement dans les banches et ne pas générer de nuisances de bruit auprès des habitations voisines.

La distribution

Elle est assurée par des canalisations métalliques de 100 mm de diamètre comprenant une partie horizontale et deux colonnes montantes. A partir de ces dernières, la distribution des buses d'injection dans les banches est assurée par des canalisations souples.

Le nettoyage conditionne le bon fonctionnement du matériel, des résidus de béton pouvant stagner dans les canalisations et ainsi augmenter la résistance. Ce nettoyage est assuré par le pompiste à la fin de chaque intervention de bétonnage. Il s'effectue en refoulant le béton contenu dans les canalisations (800 l environ) vers la zone de coulage au moyen d'une boule en caoutchouc spongieux, catapultée par de l'air sous pression.

Les banches

Le procédé nécessite des banches métalliques résistant à des pressions supérieures à celles d'un coulage classique et munies de tiges hautes accessibles, manoeuvrables depuis le plancher par des clés à pipe. Des campagnes préalables d'essais avec le fabricant de banches ont permis de les équiper de pipes d'injection directement sur le coffrage ou les abouts, mais aussi de mettre en place les équipements permettant une bonne étanchéité et la reprise des poussées.

► CONSTATS LIÉS À LA MISE EN OEUVRE

Délai de livraison

Il a été respecté. Cependant, le bilan montre que le rendement de la banche est inférieur aux objectifs fixés par l'entreprise (1,08 h/m² pour un objectif de 0,82 h/m² : cf tableau du paragraphe « respect et écarts par rapport aux objectifs »).

Qualité de finition

La qualité de finition du béton n'a pas toujours atteint le degré attendu. On a observé par exemple des phénomènes de ségrégations en pied de banches et des cavités locales de faibles surfaces. Ces phénomènes restent toutefois ponctuels. En revanche, des progrès sont à accomplir dans l'étude du béton et la maîtrise de sa qualité par les centrales. De fait, la qualité variable des bétons livrés au chantier est souvent mise en avant dans les fiches d'évaluation remplies par les compagnons.

Application du système

La principale difficulté du système réside dans l'étanchéité des banches dont l'efficacité est subordonnée à la préparation des talonnettes de calage et à l'adjonction de joints mousse périphériques. La préparation et le coulage sont réalisés par la même équipe. La mauvaise réalisation des talonnettes induit un mauvais coulage, ou son report. C'est un des points d'amélioration que les compagnons ont fortement mis en avant.

Injection

L'injection est d'une grande simplicité; elle s'effectue sans l'apport de la grue par une intervention réduite à deux compagnons (un pompiste et un chef d'équipe voile) reliés par radios sans fils. Il faut cependant être attentif à l'arrêt de coulage au niveau de l'arase supérieure afin d'éviter tout débord, ou inversement un manque qui entrainerait une reprise de coulage générant des retards dans les coulages ultérieurs et une reprise de bétonnage.

Banches

Cette expérimentation n'a pas permis de résoudre entièrement le problème de la suppression des passerelles sur les banches. Le système de transport des outils de coffrage nécessite en effet la présence d'ouvriers en haut des banches (enlèvement des crochets). Par ailleurs, le calage au fil à plomb s'effectue à partir de la partie haute du coffrage.

Cependant, le principe d'injection permet de ramener la hauteur de passerelle à mi-banche tout en assurant un suivi parfait du remplissage du coffrage, avec pour conséquence une amélioration des postures de travail. En outre le coffrage s'allège

par la suppression d'une des passerelles, même si ce gain est à nuancer en raison du renforcement de la protection restante. Une étude complémentaire pourrait amener à la suppression des protections hautes tout en assurant une parfaite sécurité. Pour la mise en place d'un cadre de porte-fenêtre dans une banche, il est préférable de couler le refend considéré en deux étapes (reprise de coulage) ou d'alimenter la banche par les deux extrémités de manière simultanée.

Distribution

Le réseau souple devient difficile à manoeuvrer dès lors qu'il est équipé des pièces métalliques de branchement sur les buses des banches. Il est en outre nécessaire de disposer de plusieurs manchettes souples, chacune d'entre elles devant être nettoyée avant tout réemploi. Les éventuelles modifications du réseau métal doivent être programmées et effectuées à vide, hors coulage; elles doivent aussi faire l'objet, avant emploi intensif, de vérifications d'étanchéité. C'est un des points techniques à améliorer : il amène un surcroît de travail qui va à l'encontre de l'allègement des tâches qu'apporte le système dans son ensemble.

La grue

Le choix de la technique de l'injection repose en partie sur la possibilité de libérer la grue pendant le coulage et la réaffecter à d'autres tâches. Sur cette opération, les choix techniques n'ont pas permis d'exprimer pleinement le gain de rotation théorique. Toutefois, la complexité du chantier (coffrage des murs injectés, approvisionnement des murs agglomérés, coffrage et coulage des murs coulés à la benne, coffrage et coulage des plancher béton) laisse à penser que la grue a été utilisée à son maximum.

Acoustique

La vibration est assurée par deux vibreurs externes fixés par barrette en partie supérieure des banches qui suppriment l'emploi de l'aiguille vibrante; ils apportent un confort important de par la réduction de la durée de cette phase, mais aussi du bruit sur le poste de travail. En revanche, le fonctionnement de la pompe à béton est bruyant.

Sécurité-propreté-pénibilité des tâches

La banche BSBI permet plusieurs améliorations liées à la sécurité :

- la suppression de la benne à béton évite les survols de la partie de mur coffrée et les manipulations liées à ce matériel.
- le personnel passe moins de temps sur les passerelles
- la zone d'injection est fortement réduite en personnel

Il faudra toutefois améliorer les réceptions de baïes caoutchouc lors des nettoyages de tuyaux, jugées dangereuses par la main d'œuvre et tous les services ayant en charge la sécurité du chantier. Sur le plan de la propreté, l'essentiel de l'apport se situe dans la suppression presque totale des coulures de béton. Les seuls résidus (facilement identifiants et nettoyables) sont les légères coulées de béton lors des arrêts de coulage.

L'entretien des banches est fortement simplifié par leur conception qui évite au serrage les coups de marteaux et de barres à mine. Par ailleurs, l'emploi de béton injecté, qui monte régulièrement et sans à coup, permet de respecter le parement de la banche : le bullage est pratiquement inexistant. A contrario, une banche classique, dans laquelle on projette plusieurs centaines de kilogrammes de béton à trois mètres de hauteur sur les parois verticales, subit des déformations qui entraînent un nettoyage et un ragréage difficile et dangereux. La banche BSBI supprime la benne pour le coulage du béton, évite l'emploi de l'aiguille vibrante et, enfin, permet d'éloigner, dans la plupart des cas, la pompe à béton génératrice de bruit. La conjugaison de ces trois éléments amène à une forte diminution de la pénibilité des tâches pour les ouvriers chargés du coffrage et du coulage.

► MOYENS MOBILISÉS

La méthode

L'utilisation du béton injecté dans les banches requiert une étude « méthode » plus importante que sur une opération traditionnelle, ainsi que son strict respect. Compte tenu du temps nécessité par les essais slump et le malaxage, il est en effet nécessaire de commander le béton en fin de soirée, sous peine de dépasser les heures

normales de travail, de perdre du béton ou, enfin, de laisser l'installation dans un état ne permettant pas son réemploi le lendemain. Ce travail de « méthode » coûte cher. De plus, sur cette opération, une demande de recours sur permis de construire a impliqué de reprendre les plans avant le démarrage des travaux, entraînant ainsi une reprise totale de l'étude de méthode.

La formation

L'utilisation de la pompe, son entretien, et la mise en place des tuyaux ont nécessité la formation du chef de chantier et de deux pompistes. L'évaluation de l'opération montre qu'une formation complémentaire de motoriste serait à prévoir. Le chef de chantier de la Méridionale a assuré la formation sur le coffrage lui-même : elle s'est focalisée sur l'étanchéité et l'utilisation des abouts spéciaux pour l'injection.

La formation béton a porté sur :

- la reconnaissance des bétons
- l'analyse des fiches de fabrication de la centrale à béton
- les essais sur le chantier au cône et les essais d'étalement
- les temps de malaxage dans le camion et le vidage correct des adjuvants
- le graissage des tuyaux par un coulis de ciment

En parallèle, une formation « méthode » a porté sur l'analyse des circuits de pompage et des localisations de pipes d'injection

Ces formations ont permis la réalisation de deux check-lists de décomposition du travail en tâches élémentaires successives destinées au chef d'équipe voiles et au pompiste. De même, l'établissement de fiches d'évaluation de durée et de qualité a également permis d'établir :

- un rapport journalier d'injection
- un tableau d'évolution du temps unitaire
- une check-list des décompositions de postes destinée aux observations des ouvriers

► ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des critères socio-organisationnels du tableau suivant montre que, hormis la suppression des tâches en hauteur sur passerelles qui n'a pas fait l'objet d'une étude sur cette opération, le système de coffrage apporte des améliorations en termes de pénibilité, de sécurité et de propreté. En revanche, l'analyse des critères technico-

économiques révèle que les rendements de la banche sont inférieurs aux ratios prévisionnels de l'entreprise. Cependant, des données chiffrées précises seraient indispensables pour se prononcer dans ce sens.



THEME	OBJECTIF	CONCLUSION
SOCIO-ORGANISATIONNELS		
Pénibilité des tâches	Suppression des tâches pénibles et répétitives (manutention à la main de la benne à béton d'un poids d'environ 3 tonnes) Suppression de la vibration manuelle pénible et très bruyante	Cette amélioration est importante et justifie à elle seule l'utilisation du système. Elle est à pondérer sur cette opération par le faible volume de béton coulé par injection au regard du volume global Même conclusion que ci-dessus
Sécurité des tâches	Suppression de la manutention liée à la benne à béton (voir ci-dessus) Suppression des tâches en hauteur sur passerelle avec déplacements sur échelle Simplification des gestes Analyse de la méthode de contrôle de l'arase de coulage	Même conclusion que ci-dessus La suppression des tâches en hauteur sur passerelles n'a pu être complètement développée durant l'expérimentation, l'OPPBTP exigeant une étude préalable. Une enquête portant sur les temps réels passés sur les passerelles, en corrélation avec la manutention et le calage des banches, devait être mise en place. Le court délai de réalisation, et l'apprentissage du travail sur le coffrage, n'ont pas permis de réaliser cette étude. Aucune amélioration n'a été constatée dans ce sens. Amélioration potentielle dès lors que les passerelles auront été supprimées ou posées à mi-banches

THEME	OBJECTIF	CONCLUSION
Propreté	Suppression des pertes de béton tâchant les banches et les sols Suppression de l'aiguille vibrante	Amélioration de la propreté, gain de temps et diminution du bruit lors du nettoyage des banches Même conclusion que sur le poste pénibilité
TECHNICO-ÉCONOMIQUES		
Qualité des ouvrages	Qualité des parements supérieure à celle obtenue avec un coffrage classique	La qualité est effectivement meilleure dans l'ensemble. Cependant, la qualité inégale des bétons provenant de la centrale BPE, ainsi que les fins de bétonnage à la benne, ne permettent pas toujours de distinguer les murs coulés par injection des autres
Matériel	Simplification du matériel	Elle est subordonnée à la suppression des passerelles qui n'a pas été réalisée sur cette opération. Par ailleurs, les tuyaux de desserte béton des banches encombrant le sol
Rendements	Amélioration des temps unitaires de bétonnage	Les relevés fournis par l'entreprise font apparaître un ratio de temps de coulage moyen de 1,08 h/m ² pour un objectif de 0,82 h/m ² , avec une amélioration sensible en fin d'opération. Les dépassements sont essentiellement de trois types : - défaut d'étanchéité des banches et talonnettes non-positionnées - problème de distribution (béton sec) - problèmes avec la centrale : retards, refus de béton, etc... La comparaison avec un coffrage classique est impossible, l'évaluateur ne disposant pas de ratios.
Coût	Amélioration globale du prix de revient de l'ouvrage	L'entreprise n'a pas fourni d'informations. Bien que le délai global ait été respecté, l'entreprise a dépassé ses temps unitaires prévisionnels
Interface corps d'état	Gain sur le délai gros oeuvre permettant une plus longue intervention des corps d'état Modification technique incorporation	Cette opération ne permet pas de conclure en ce sens Concerne essentiellement l'électricien pour lequel la pose en banches par aimant est habituelle

Evaluation de la démarche et perspectives

Les compagnons ont adhéré à la démarche, tant en phase de formation qu'en phase chantier, malgré les changements induits par le système de coffrage dans leurs habitudes de travail.

Cette opération leur a aussi donné l'occasion de s'exprimer sur certaines options (qualité du béton, maîtrise du système, mise en place des talonnettes, etc...). En particulier, ils soulignent la

► LES POINTS D'AMÉLIORATION

Sur le plan technique, le renvoi de la commande d'élingage au niveau du sol n'avait pas été abordé lors de l'étude du coffrage. Ainsi, les passerelles ont été maintenues en partie supérieure des banches, au



nécessité de programmer le temps de coulage afin que l'équipe de couleurs et de coffreurs puisse préparer le jour même les talonnettes indispensables au coffrage des banches du lendemain. Enfin, ils mettent en avant l'évolution favorable des conditions de travail et de sécurité liées à l'utilisation du coffrage.

L'amélioration de la sécurité, des conditions de travail et de est significative par rapport aux outils de coffrage traditionnels. Elle touche en particulier:

- la suppression de la manutention liée à la benne à béton

- la suppression de l'emploi de l'aiguille vibrante

De même, la qualité des parements (même si des bullages consécutifs à la qualité variable des bétons ont entraîné des reprises de coulage en fin d'opération) est fortement améliorée.

détriment de l'allègement du poids du matériel et de la sécurité liée à la suppression du travail des compagnons en partie haute du coffrage.

Une autre difficulté est consécutive à l'inadéquation de la taille de l'opération et des choix techniques (problème en sous-sol, planchers traditionnels et fonds de loggia en agglomérés de béton) liés à l'introduction d'une technologie nouvelle qui nécessite de gros moyens d'études et d'adaptation sur le chantier. De fait, les parties d'ouvrage coulées avec la banche expérimentale ont été trop peu nombreuses pour dégager une évaluation économique précise. De même, la banche devait potentiellement permettre de modifier l'organisation du chantier en libérant la grue de l'opération de coulage. Malgré le travail d'études consenti par l'entreprise, le pourcentage de béton injecté utilisé en gros oeuvre n'a pas permis de dégager des enseignements en ce sens.

La diminution de la durée des tâches, réelle sur les temps d'injection du béton, ne peut être validée. Il faudrait en effet imputer aux temps unitaires, les temps de préparation des banches (talonnets

- Le nettoyage des circuits de distribution (la récupération des balles de caoutchouc reste dangereuse);
- l'obtention d'une meilleure maîtrise de la qualité du béton livré par la centrale BPE.



d'étanchéité et branchement de la distribution de béton), les essais et les temps de malaxage du fluidifiant. Ce calcul, dépendant de plusieurs postes, n'a pas été réalisé sur l'opération. Enfin, du manque de concertation entre l'architecte et les bureaux d'études en phase de définition du projet, a découlé un problème de dimension des banches mal adaptées aux murs de refends à couler. Trois autres points sont à améliorer :

- La pompe, qui est génératrice de nuisances sonores importantes;

PERSPECTIVES

Le procédé a démontré sa pertinence en matière de sécurité et de diminution de la pénibilité des tâches de coffrage. De ce point de vue, la démarche est un succès; elle mériterait d'être reconduite sur une opération mieux adaptée (davantage de murs coulés avec la banche, implantation des portes-fenêtres définies, dimensions des murs adaptées aux dimensions des banches, etc...) afin de dégager une évaluation économique du matériel. En corrélation, il s'agira d'entreprendre un travail « méthodes » plus poussé : mise en place des installations fixes/souples; banches (rotations); parties coulées en traditionnel/injectées, etc.

La pérennisation du partenariat entreprise/fabricant du coffrage/fournisseur de pompes sera déterminant pour le développement de ce matériel. L'emploi éventuel de la BSBI pour les travaux de réhabilitation en milieu urbain doit être étudiée finement. Son utilisation est en effet soumise à plusieurs conditions :

- un volume de travaux suffisant pour amortir les banches;
- un volume de béton à injecter par rotation de 3 m³ (1 camion), indispensable pour ne pas multiplier les essais et fluidifications et pour disposer d'un béton de centrale adapté;
- une implantation très précise de la pompe. Contrairement aux hypothèses de départ, celle-ci doit en effet se situer à proximité immédiate de la banche : l'opération de Mauguio montre que le volume de béton stagnant dans les tuyaux est important et que le circuit ne saurait être rallongé. Un allongement du temps de trajet entre la pompe et la banche induirait par ailleurs une perte de la qualité de fluidité du béton.

Les essais menés par l'entreprise

OBJECTIF DE DÉPART	ACTION
Etude et conception d'une banche d'expérimentation Adaptation des coffrages existants Résoudre les problèmes liés à la pression rapide Résoudre les problèmes dus aux réservations d'ouverture Résoudre les problèmes liés au contrôle du bétonnage Définition des bétons d'expérimentation Caractéristiques d'un «béton pompable» : - teneur en fines - teneur en ciment - rapport eau/ciment - adjuvant (fkuidifiant) Les pompes	Mise en place d'un injecteur tubulaire muni d'une vanne à couteau sur une banche container de 1250 x 2520 ht de chez Outinor. Mise en place sur la banche d'un double fer U servant de renfort avec tige de serrage. En raison des turbulences créées par l'injection du béton liquide, le maintien des réservations doit-être plus ferme. - pour le 1er essai, doublement du nombre d'aimants : la réservation a bougé; - pour l'essai suivant, ajout de cônes de compression sur les aimants : la réservation s'est déplacée de 1 cm; - le 3ème essai consiste à utiliser des cônes de compression sur les aimants avec un béton très fluide (voir définition des bétons). Cette solution est retenue. Ce contrôle s'effectue encore visuellement, en montant sur les passerelles. L'objectif final est de coupler un palpeur réglant le niveau de béton à une radio commande de pompe (marche-arrêt). Cet ensemble devra être relié à un système de vibration qui ne servira qu'à régler l'horizontalité de l'arase. Des essais ont été menés avec des fabricants de béton sur la mise au point d'un béton avec agrégats roulés ou concassés. Globalement, il est nécessaire d'augmenter la quantité de fine dans le béton (particule de moins de 8 microns) Il convient également d'ajouter un super plastifiant pour limiter la quantité d'eau et conserver la résistance mécanique. Le plastifiant est à ajouter avant l'injection pour obtenir un béton fluide pendant la durée du processus. Détermination de la pompe à Béton (Méthode SCHWING)

OBJECTIF DE DÉPART	ACTION
La tubulure	Paramètre de calcul - débit de béton nécessaire : $Q \text{ m}^3/11\text{cm}$ - diamètre de la tuyauterie DN 100 ou DN 125 - valeur maximum de la tuyauterie (longueur) - hauteur maximum du pompage - consistance du béton On obtient alors la pression de refoulement par le monogramme. Le paramètre technique de la pompe est : PT : Débit x pression de refoulement. Lors d'une deuxième série d'essais nous avons expérimenté deux pompes Putzmeister de puissance plus modeste : - BSA 100 Z I 20 M3/M - BQA 20 SV D 20 M3/M La seconde pompe fonctionne suivant le principe à « écrasement de tuyau ». Toutes deux ont donné satisfaction bien que leur débit paraisse un peu faible. Ces essais ont montré qu'il est possible élargir sensiblement le choix des modèles de pompes et adapter ce choix au besoin précis. Pour faciliter la mise en oeuvre du béton par pompage, de nombreux accessoires sont disponibles : - différents diamètre de tuyaux (100,125,150,190 mm); - des aiguillages; - des vannes d'arrêt actionnées mécaniquement ou hydrauliquement; - une radio commande pour la pompe ou les vannes d'arrêt. Des tuyaux d'un diamètre de 125mm, puis de 100 mm ont été testés. Leur utilisation ne pose aucun problème pour du béton avec agrégat 0/16. De plus, ils présentent l'avantage d'être plus légers et maniables. En tout état de cause, des tuyaux de 125 mm sont nécessaires jusqu'au premier aiguillage. Pour simplifier les raccordements les derniers mètres (4 à 10), des tuyaux souples se sont substitués aux rigides, avec pour conséquence une simplification sensible du travail. Il reste à expérimenter des aiguillage hydrauliques, bien plus performants et étanches que les mécaniques.

OBJECTIF DE DÉPART	ACTION
Protocole d'essais expérimentaux Injection possible avec/sans vibration Injection possible voile L 6m/10m Injection possible avec réservations diverses Injection possible avec aigüillage Analyse des parements obtenus dans les différents cas de figure Elimination des problèmes de	Ces ensembles permettront un nettoyage plus aisé, le nettoyage des tuyauteries étant encore pénible, bien que légèrement amélioré lors de la deuxième campagne. La vibration n'est pas nécessaire, sauf en phase finale du coulage pour régler le niveau d'arase. Lors d'une deuxième campagne d'essais, l'équipe a réalisé des voiles de 2, 80m de hauteur, de 0,10 0,16 et 0,20 m d'épaisseur, et de longueur allant jusqu'à 18 m, avec un seul point d'injection. Dans tous les cas de figures, mis à part quelques erreurs de manipulation, ces essais ont été une réussite. Dans une seconde série d'essais, l'équipe a traité en conditions de chantier toutes les figures de cas d'incorporations. Elle a appliqué avec succès les solutions élaborées lors de la première série d'essais. Lors de cette deuxième campagne d'essais, l'équipe a utilisé les nouvelles banches Outinord B8000 qui présentent les caractéristiques souhaitées : - tiges hautes accessibles du sol; - 8 tonnes/m²; Les renforts mis en place sur les premières banches deviennent inutiles. La position de la tige haute évite de monter sur la passerelle lors de sa mise en oeuvre. Les tiges de serrage de ces nouveaux coffrages sont pourvues d'écrous que l'on peut serrer à la clé à cliquet. Les coups de marteau destinés à serrer les écrous tourbillons sont ainsi supprimés. Les parements obtenus sont homogènes et de qualité bien supérieure à celle obtenue par un coulage classique, sous condition de bien régler le problème d'étanchéité de banche. Aucun compagnon ne travaille en partie haute des banches, hormis un ouvrier qui commande au pompiste par radio l'arrêt de l'injection. La phase de vibration étant par ailleurs très brève, le bruit diminue considérablement.

