

Quelques informations issues des congrès de Milwaukee (sur les additions minérales dans les bétons) et de Las Vegas (sur les progrès dans la technologie du béton)

François de LARRARD
Chef de la Section

Thierry SEDRAN
Ingénieur TPE

Vincent WALLER
Doctorant

Section Formulation
et mise en œuvre des bétons
Division Bétons et ciments pour ouvrages d'art
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Le CANMET (Centre Canadien pour l'Énergie et les Minéraux) a organisé en juin 1995 deux congrès importants, l'un sur les additions minérales dans les bétons (à Milwaukee, Wisconsin, États-Unis) et l'autre, plus général, sur les progrès récents dans la technologie du béton (à Las Vegas, Nevada, États-Unis). Ces congrès étaient assortis de manifestations en hommage à des chercheurs émérites. Au total, plusieurs centaines de communications ont été présentées, et il est presque impossible d'en dresser une synthèse. On présente plutôt dans cette note une sélection subjective de communications, en se limitant aux productions étrangères à la France, et à des sujets proches des recherches en cours dans la division Bétons et ciments pour ouvrages d'art du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

Les communications n'ont pas fait l'objet de regroupements systématiques. Un assez grand nombre d'articles traite des bétons autonivelants (BAN). On constate que, malgré l'intérêt croissant de la communauté du génie civil pour ces nouveaux matériaux, la grande majorité des exposés restent japonais. Exceptés quelques articles à visée plus générale, la plupart sont en fait des exemples d'application de ces bétons sur des chantiers.

■ WIENS U., BREIT W., SCHIESSL P., *Influence of High Silica Fume and High Fly Ash Contents on Alkalinity of Pore Solution and Protection of Steel against Corrosion*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-39, june, 1995.

Il s'agit d'un article de fond sur une question très souvent soulevée en France, mais ayant peu intéressé nos collègues étrangers : le problème du maintien du pH alcalin dans les bétons contenant des dosages importants d'additions pouzzolaniques. Les bétons étudiés dans cette communication comportaient des fumées de silice (jusqu'à 25 % de la teneur totale en liant), des cendres volantes (jusqu'à 60 %), ou des laitiers (jusqu'à 50 %). Certains mélanges étaient des cocktails des trois additions, avec seulement 45 % de ciment Portland. À côté des mesures de pH de la solution intersticielle, l'étude comporte également des essais de corrosion accélérée. Parmi tous les résultats produits par ce travail, signalons les plus significatifs :

- les cendres volantes, même surdosées, ne diminuent pas le pH (au moins pendant la durée des essais), car la vitesse de réaction pouzzolanique est fortement réduite par la diminution de la réserve en chaux ;
- la même remarque s'applique aux laitiers ;
- par contre, les matériaux dosés à 33 % de fumée de silice par rapport au ciment voient leur pH descendre jusqu'à 12, les alcalins étant par ailleurs piégés dans la structure des hydrates.

Cependant, même dans ce cas extrême (par rapport aux applications courantes), la haute résistivité du matériau durci ralentit considérablement le développement de la corrosion.

■ IWAI M., TAKAGI A., MIZOBUCHI T., NOBUTA Y., *Utilization of Low-Heat Cement with High Content of Finely Ground Blast Furnace Slag for High-Strength Concrete*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-52, june, 1995.

Le but recherché par les auteurs est de formuler un béton de résistance supérieure à 60 MPa à 90 jours, développant de faibles risques de fissuration d'origine thermique, avec des propriétés rhéologiques peu sensibles à la température ambiante, et une pompabilité satisfaisante. Ils utilisent de nouveaux ciments à faibles chaleurs d'hydratation à base de laitiers avec ou sans cendres volantes (ciments FMKC : 40 % de CPA, 50 % de laitier, 10 % de cendres volantes et LSC : 25 % de CPA, 75 % de laitier), en combinaison avec un fluidifiant. Un CPA leur sert de référence. Les rapports e/c des trois bétons sont identiques : e/c = 0,30, et les formulations sont choisies pour obtenir la résistance recherchée. L'étude consiste à comparer les propriétés de trois bétons, à base de FMKC, LSC et

Notes
techniques

CPA respectivement, en termes de chaleur dégagée, d'ouvrabilité avant et après pompage et à différentes températures de mise en œuvre, et de propriétés mécaniques. Les auteurs concluent que le béton à base de LSC répond le mieux aux exigences fixées, son utilisation permettant à la fois de minimiser les risques de fissuration et de maîtriser l'ouvrabilité du béton tout en assurant le niveau de résistance recherché.

■ THOMAS M.D., MUKHERJEE P.K., SATO J.A., EVERITT M.F., *Effect of Fly Ash Composition on Thermal Cracking in Concrete*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-5, june, 1995.

Pour évaluer les risques de fissuration thermique dans des bétons contenant des cendres volantes, les auteurs ont mesuré la chaleur produite au cours de l'hydratation de pâtes ainsi que les déformations maximales en traction de bétons formulés à partir des pâtes précédentes. Douze cendres volantes furent testées (teneur en CaO variant de 3 à 27 %) à des taux de remplacement de 25, 40 et 56 %. Le rapport $e/(c+cv)$ valait 0,5. Les résultats obtenus montrent que la chaleur d'hydratation est d'autant plus élevée que la cendre est plus riche en CaO. Et pour une teneur donnée de la cendre en CaO, la chaleur d'hydratation décroît lorsque le taux de remplacement augmente. Enfin, un ciment riche en alcalins accélère le dégagement de chaleur aux jeunes âges sans toutefois modifier la quantité totale de chaleur produite. Par ailleurs, même si les bétons aux cendres volantes montrent une plus faible résistance à la traction, leur déformation maximale se révèle supérieure à celle des témoins. Ceci permet aux auteurs de conclure que les bétons aux cendres volantes présentent une meilleure résistance à la fissuration d'origine thermique.

■ CHANDRA S., BERNTSSON L., *Determination of Mixture Proportions of Structural Lightweight Aggregate Concrete*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, CANMET/ACI R.N. Swamy Symposium, pp. 209-219, june, 1995.

L'article présente une méthode de formulation des bétons légers de structure, question que nous avons abordée récemment dans ces colonnes*. Alors que l'optimisation granulaire est traitée de façon classique (courbe de Fuller), les auteurs ont tenté de calibrer un modèle de résistance basé sur une ana-

lyse diphasique du matériau (mortier/gravillon léger). Au contraire de notre approche, dans laquelle nous distinguons le *module élastique du gravillon* comme paramètre essentiel, c'est ici la résistance du gravillon qui est invoquée. Elle est déduite de la densité par une formule empirique. Cependant, après discussion avec les auteurs, cette résistance du gravillon est un concept théorique qui ne s'appuie sur aucune mesure directe.

■ SAKATA K., AYANO T., OGAWA A., *Mixture Proportioning for Highly Flowable Concrete Incorporating Limestone Powder*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-14, pp. 249-268, june, 1995.

L'objectif des auteurs est de mettre au point une formule de béton autonivelant avec des matériaux locaux et contenant du filler calcaire. Ils se sont fixés la méthodologie suivante :

- la résistance impose le rapport E/C ;
- le dosage en superplastifiant est donné par une abaque dépendant du type de malaxeur ;
- le dosage en agent de viscosité est donné par des abaques en fonction du rapport E/C, du rapport S/G (sable/gravillon) et de la teneur en eau ;
- la quantité d'eau est fixée à l'aide de tests d'étalement de remplissage et de ségrégation en considérant deux cas limites de G/S (0,9 et 1,35) ;
- le rapport G/S et l'intérêt d'un remplacement partiel des granulats par du filler calcaire est estimé par un essai d'étalement.

La tentative est intéressante, même si on ne comprend pas d'où proviennent les abaques utilisés, et si l'on peut regretter la lourdeur des essais qui rend difficile une réelle optimisation du béton.

■ MARUSIN S.L., BRADFOR SHOTWELL L., *ASR in Concrete Caused by Densified SF Lumps - A Case Study*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, Supplementary papers, pp. 45-60, june, 1995.

Le cas présenté dans cette communication est intéressant. Alors que beaucoup d'auteurs présentent la fumée de silice comme un moyen de prévention de la Réaction Alcali-Silice (RAS), il s'agit ici d'un cas sévère de RAS (six mois après la construction) justement imputable à ce produit. Encore faut-il préciser que la fumée employée ici était agglomérée, et comportait nombre de particules de la taille de grains de sable. On manque malheureusement de données sur les conditions dans lesquelles ce béton a été formulé et mis en œuvre. On en conclut cependant qu'il faut être vigilant sur la dispersion des fumées de silice dans les bétons (en utilisant des superplastifiants, en limitant la densité en vrac des fumées, et en imposant des temps de malaxage suffisants).

* DE LARRARD F., Une approche de la formulation des bétons légers de structure, *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 195, janvier-février 1995.

■ SASATANI T., TORI K., KAWAMURA M., *Five-Year Exposure Test on Long-Term Properties of Concretes Containing Fly Ash, Blast-Furnace Slag, and Silica Fume*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-16, june, 1995.

L'opération présentée dans cet article relève du même principe que celle prévue dans le nouveau projet national BHP 2000, groupe « Durabilité » : entreposer en extérieur des éléments de structure en bétons de différentes compositions et suivre leur comportement. L'objectif était ici de comparer des bétons de ciment Portland pur avec des mélanges contenant des additions minérales de type et de proportions divers. Énumérons, ci-après, quelques conclusions des auteurs :

- l'influence de la cure sur la qualité du béton en place est, comme on s'y attendait, plus importante avec les bétons dont le durcissement est lent, soit les bétons aux cendres volantes et/ou au laitier ; ces bétons présentaient également une carbonatation plus importante que le témoin et que le béton à la fumée de silice ;
- cependant, les conditions réelles d'environnement (pluie intermittente) sont, dans le cas présent, beaucoup moins sévères qu'une cure à l'air sec en laboratoire ;
- le phénomène de légère diminution *apparente* de la résistance du béton à la fumée de silice exposé à l'air, que nous avions analysé il y a quelques années, a été retrouvé ;
- tous les bétons comportant des additions minérales ont montré une excellente résistance à la pénétration des ions chlores, le mieux placé étant évidemment le béton de fumée de silice.

■ ATLASSI E.H., *Non-Evaporable Water and Degree of Cement hydration in Silica Fume-Cement Systems*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-37, june, 1995.

L'auteur analyse l'influence de la présence de fumée de silice dans un béton sur la quantité d'eau liée dans les réactions d'hydratation et sur le degré de réaction du ciment. Il est courant d'estimer la quantité d'eau liée e_l dans la réaction d'hydratation du ciment par la relation $e_l = 0,25 \alpha c$, où α représente le degré de réaction du ciment. Dans la pratique, on utilise surtout cette formule pour obtenir le degré de réaction du ciment à partir de la quantité d'eau liée (mesurée, par exemple, par thermogravimétrie). En présence de fumée de silice, cette approche n'est plus valable. En effet, au cours du phénomène de polymérisation des CSH, l'eau contenue dans la fraction de chaux qui réagit avec la silice est libérée. La formule donnant la quantité d'eau liée devient : $e_l = 0,25 \alpha_c c - 0,34 \alpha_s s$, où s est la

quantité de silice amorphe et α_c et α_s les degrés de réactions du ciment et de la silice amorphe, respectivement. Il n'est alors plus possible de se baser sur la seule mesure de l'eau liée pour remonter au degré de réaction du ciment. On peut, toutefois, faire l'hypothèse que, tant qu'il n'y a pas plus de silice amorphe que n'en peut consommer la chaux produite par le ciment, toute la silice réagit. En faisant l'hypothèse d'un rapport $C/S=1,2$ des CSH issus de la réaction silice-chaux, on peut calculer la quantité maximale de silice amorphe qui pourra réagir avec la chaux produite, en fonction du degré d'hydratation prévisible du ciment : $s = 0,18 \alpha_c c$. Tant que la quantité de silice présente ne dépasse pas cette limite, le degré final de réaction du ciment n'est pratiquement pas affecté. Au-delà, le degré de réaction du ciment décroît fortement en raison de l'augmentation de l'autodessication.

■ KAKIZAKI M., EDAHIRO H., *Effect of Coarse Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of Ultra-High-Strength Silica Fume Concrete*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, Supplementary papers, pp. 493-512, june, 1995.

Il s'agit d'une étude importante concernant l'effet du granulat sur les propriétés mécaniques des bétons à hautes performances (BHP). L'influence, classique, de la taille maximale du gravillon, est retrouvée (la résistance augmentant lorsque D diminue, à e/c constant). La résistance propre de la roche conditionne également celle du béton. Ce fait expérimental, valable pour la zone des 100 MPa, ne l'est pas pour les bétons ordinaires. L'article comporte, aussi, des données intéressantes sur la déformation au pic de contraintes et sur la pente de la partie post-pic de la courbe effort-déplacement.

■ CALDARONE M.A., GRUBER K.A., *High-Reactivity Metakaolin (HRM) for High-Performance Concrete*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-43, june, 1995.

L'article présente des formulations de bétons à hautes performances (BHP) dans lesquelles l'addition minérale est un métakaolin (kaolinite traitée thermiquement). Les performances de ces bétons sont comparées à celles de témoins de CPA pur, et de bétons aux fumées de silice (pour une même quantité de pouzzolane incorporée, et pour des rapports eau/liant identiques). En termes de résistance en compression, l'apport des métakaolins est comparable à celui des fumées de silice. Sur le plan rhéologique, la demande en superplastifiant est même plus faible, ce qui est

surprenant, lorsqu'on sait que les métakaolins sont généralement des particules très poreuses, alors que les grains élémentaires de fumée de silice sont des sphères. Cet article est cependant prometteur vis-à-vis de la question, toujours d'actualité, du remplacement des fumées de silice par des produits plus abondants (et de couleur plus claire).

■ FUJIWARA H., SAWADA E., ISHIKAWA Y., *Study on Methods of Manufacturing High-Strength Aerated Concrete Containing Silica Fume*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-36, june, 1995.

Les auteurs de cette contribution se sont intéressés à la question de la mise au point de matériaux très légers ayant cependant la résistance d'un béton de structure. Une première optimisation de la pâte liante a été menée, ayant conduit à un mélange ciment-fumée de silice-filler siliceux dans les proportions 60/10/30 %. Puis cette matrice a été utilisée avec différents granulats légers, et adjonction d'air entraîné. Des couples résistance/densité remarquables ont ainsi été atteints (par exemple, 20 MPa/1,0, ou 40 MPa/1,5).

■ SANCHEZ DE ROJAS M.I., FRIAS M., *The Influence of Silica Fume on the Heat of Hydration of Portland Cement*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, ACI SP 153-44, june, 1995.

Les auteurs ont testé une fumée de silice sur des mélanges ayant des taux de remplacement en fumée de silice variant de 5 à 30 %. Tant que le taux de remplacement n'excède pas 15 %, l'effet de dilution du ciment par la fumée de silice est compensé par la chaleur produite dans la réaction pouzzolanique entre la fumée de silice et la chaux produite par l'hydratation du ciment : le mélange dégage plus de chaleur que le témoin. Au-delà de cette limite, la diminution de chaux produite rend prépondérant l'effet de dilution et le mélange est finalement moins exothermique que le témoin, malgré un dégagement de chaleur plus important dans les premières heures. Six autres fumées de silice furent également testées pour un taux de remplacement de 10 %. Elles présentent un comportement similaire à la première. Les auteurs ont également comparé les comportements de mélanges ciment-fumée de silice et ciment-cendre volante, pour un taux de remplacement de 30 %. Les cendres volantes réagissant beaucoup plus lentement que la fumée de silice, l'effet de dilution est prépondérant dès les premières heures.

■ ROENNING T.F., SKJEGGERUD K., RETELIUS A., VIRTANEN J., LAAKSONEN J., *Freeze-Thaw Resistance of Silica fume Concrete As Influenced by Curing, Cement Type, Air Content and Slump Value*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, Supplementary papers, pp. 61-84, june, 1995.

Cette étude relate un nombre important d'essais d'écaillage relatifs à des formulations avec et sans fumée de silice. Les paramètres suivants ont été contrôlés : trois niveaux d'entraînement d'air (1,3 et 6 %), deux types de ciment (teneur en C₃A de 1,5 et 8 %), des teneurs en alcalins variables, des affaissements au cône de 5 et 15 cm et, enfin, plusieurs types de cure. Le rapport eau/liant était maintenu constant et égal à 0,45. Dans l'ensemble, la fumée de silice tend à améliorer la résistance à l'écaillage. Cependant, la résistance en compression des bétons aux fumées de silice était supérieure à celle des témoins. Il y a peu de tendances générales dans ces résultats, ce qui montre la difficulté d'une approche scientifique concernant l'écaillage du béton.

■ NAGATAKI S., OTSUKI N., HISADA M., *Influence of the Characteristics of Silica Fume on Some Properties of Concrete*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, Supplementary papers, pp. 61-84, june, 1995.

Dans un premier temps, les auteurs ont caractérisé quatorze fumées de silice provenant de cinq pays différents. Ensuite, ils ont étudié l'influence de ces caractéristiques sur les propriétés de mortiers contenant ces fumées de silice avec ou sans fluidifiant : chaleur d'hydratation, résistance en compression, expansion due à la réaction alcali-silice, résistance aux sulfates, retrait et ouvrabilité. Outre des résultats assez classiques relatifs à l'ouvrabilité (d'autant plus faible que la surface spécifique des fumées de silice est grande), à l'expansion due à la réaction alcali-silice (réduite par rapport au témoin), à la résistance en compression (gain meilleur pour des e/c faibles et en présence de fluidifiant), à la résistance à l'agression d'ions sulfates (améliorée), au retrait total (supérieur à celui du béton témoin), l'étude montre que les conséquences de l'activité pouzzolanique de la silice sur les réactions d'hydratation (chaleur d'hydratation, consommation de chaux) sont d'autant plus prononcées que la surface spécifique des fumées de silice est grande.

■ BÜRGE T.A., *Highly Reactive Ternary Blend with Portland Cement*, 5th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, Supplementary papers, pp. 99-108, june, 1995.

Différents ciments spéciaux sont testés dans cet article, dans le but d'atteindre des résistances élevées au très jeune âge (*id est* quelques heures après

le coulage). Un liant ternaire est fabriqué, par combinaison de ciment Portland, de fumée de silice et de schiste bitumineux calciné (*burned oil shale*). Différents accélérateurs sont essayés avec ce liant, le plus efficace étant un aluminate de calcium de type C₁₂A₇. Des résistances remarquables sont ainsi obtenues sur mortier : 16 MPa à deux heures, 47 MPa à vingt-quatre heures, 90 MPa à vingt-huit jours. Des liants de ce type pourraient constituer des solutions intéressantes dans les applications où l'on cherche des résistances très précoce, comme par exemple certaines réparations.

■ OZAKA Y., *Realization of HSC in Japan*, Adam Neville Symposium on Concrete Technology, Las Vegas, V.M. Malhotra ed., pp. 39-58, june, 1995.

Ce texte relate l'expérience japonaise en matière de bétons à hautes performances (BHP) dans le domaine des ouvrages d'art. Dès l'année 1970, de tels ouvrages ont été construits au Japon et ne sont portés que maintenant à la connaissance du public international. Il s'agissait de ponts à structure triangulaire, ainsi que de ponts à haubans.

■ DILGER W., WANG C., *Shrinkage and Creep of High-Performance Concrete*, Adam Neville Symposium on Concrete Technology, Las Vegas, V.M. Malhotra ed., pp. 59-84, june, 1995.

Cet article est un état-de-l'art relatif aux déformations différées des bétons à hautes performances (BHP). Il souligne l'intérêt de séparer les différents types de déformations différées (retrait endogène et de séchage, fluage propre et de dessiccation), comme nous le faisons en France depuis près de dix ans.

■ HILSDORF H.K., *Criteria for Duration of Curing*, Adam Neville Symposium on Concrete Technology, Las Vegas, V.M. Malhotra ed., pp. 129-146, june, 1995.

Le problème de la durée de la cure est soulevé dans cette contribution. C'est une question souvent abordée dans les discussions sur les chantiers. L'auteur fait remarquer que l'on pourrait déterminer cette durée sur la foi de résultats d'essais de durabilité, mais que l'on manque dans ce domaine de procédures normalisées assorties de seuils d'acceptation. Il propose de se baser sur la part de résistance obtenue à la fin de la cure, par rapport à la résistance à vingt-huit jours (ce qui constitue d'ailleurs une définition de la maturité).

■ NASSER K.W., SINGH B.P., *A New Method and Apparatus for Determining the Air-Void Parameters in Fresh and Hardened Concrete*, Adam Neville Symposium on Concrete Technology, Las Vegas, V.M. Malhotra ed., pp. 239-256, june, 1995.

Une méthode rapide de détermination du réseau de bulles d'air dans les bétons est décrite dans cet arti-

cle. Le principe en est de filmer la surface du béton avec une caméra vidéo et, par analyse d'images, d'en déduire les paramètres du réseau de bulles d'air (dont le fameux \bar{L} , distance moyenne entre bulles). La difficulté est que l'on n'a pas accès à la structure *interne* des bulles, qui n'est pas forcément (à notre avis) la même qu'en peau.

■ BREMNER T.W., HOLM T.A. *High-Performance Lightweight Concrete - A Review*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-1, pp. 1-20, june, 1995.

Revue sur l'utilisation des bétons à hautes performances (BHP) de granulats légers. À côté des connaissances élémentaires sur cette famille de matériaux, l'auteur s'attarde sur quelques ouvrages anciens de béton léger (des exemples datant des Romains existent encore !), en montrant leur bonne durabilité.

■ OGAWA A., SAKATA K., TANAKA S., *A Study on Reducing Shrinkage of Highly Flowable Concrete*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-4, pp. 55-72, june, 1995.

Après un rappel très général sur l'intérêt des bétons autonivelants, les auteurs soulignent que ces bétons contiennent des volumes de pâte plus importants que les bétons conventionnels et peuvent donc présenter des risques accrus de fissuration dus à des retraits empêchés. Les auteurs montrent sur une formule de béton autonivelant que des agents réducteurs de retrait et des agents expansifs peuvent être utilisés efficacement pour pallier ce problème.

■ MARCHAND J., GERARD B., *New Developments in the Modeling of Mass Transport Processes in Cement-Based Composites - A Review*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-10, pp. 169-210, june, 1995.

Voici encore une synthèse intéressante, cette fois-ci sur la modélisation des phénomènes de transport dans le béton durci. Les auteurs font la distinction entre perméation et diffusion, et clarifient un certain nombre de concepts utiles pour l'étude de la durabilité.

■ NAGATAKI S., FUJIWARA H., *Self Compacting Property of Highly Flowable Concrete*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-16, pp. 301-314, june, 1995.

L'objectif des auteurs est de mettre au point une méthode de formulation des bétons autonivelants. Ils tentent de relier les propriétés rhéologiques du

mortier (seuil de cisaillement et viscosité plastique) et le volume de gravillons à trois propriétés des bétons (au nombre de dix-huit) :

- l'autonivelance du béton à l'aide d'un essai classique d'étalement ;
- la tendance à la ségrégation du béton à l'aide d'un essai original consistant à mesurer, sur un échantillon de 2 l de béton, la quantité de mortier passant au travers d'un tamis de maille 5 mm au bout de 5 min. Cet essai a été corrélé avec des observations sur des poteaux de 90 cm de haut ;
- la tendance à la ségrégation du béton à l'aide d'un essai original consistant à mesurer sur un échantillon de 2 l de béton, la quantité de mortier passant au travers d'un tamis de maille 5 mm au bout de 5 min. Cet essai a été corrélé avec des observations sur des poteaux de 90 cm de haut ;
- l'aptitude au remplissage au travers d'une grille dans un coffrage en U.

Ces trois propriétés ne sont pas reliées entre elles de façon univoque, et l'essai de remplissage semble le plus sévère. Il est donc indispensable, bien que plus lourd à mener expérimentalement.

Dans le plan expérimental adopté, les mortiers ne variaient que par la teneur en agent de viscosité, de telle sorte que la viscosité et le seuil de cisaillement étaient reliés linéairement. Il est ainsi difficile d'évaluer l'influence de chacun de ces paramètres sur les différentes propriétés du béton, ce qui limite un peu l'intérêt de ce travail, dont la méthodologie reste cependant prometteuse.

■ FUKUTE T., MORIWAKE A., SANO K., HAMASAKI K., *Development of Super-Workable Concrete for Multi-Fonctional Port Structures*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-18, pp. 335-356, june, 1995.

Cet article présente un exemple d'utilisation d'un béton autonivelant de 40 MPa pour la construction d'un brise-lames dans un port. Le texte compile les données recueillies pour le contrôle qualité du chantier (*résistance in situ*, maintien de rhéologie...) et quelques données sur le retrait de séchage et la durabilité. L'auteur insiste sur l'importance du suivi de la teneur en eau des granulats et particulièrement du sable.

■ HAYAKAWA M., MATSUOKA Y., YOKOTA K., *Application of Superworkable Concrete in the Construction of 70-Story Building in Japan*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-20, pp. 381-398, june, 1995.

Encore un exemple de l'utilisation d'un béton autonivelant de 40 MPa dans un cas réel. Il s'agissait ici de remplir des poteaux métalliques de 40 m de haut et comportant des diaphragmes avec une ouverture de 180 mm de diamètre ;

800 m³ ont été ainsi placés en donnant des résultats satisfaisants (bullage faible, résistance acceptable, remplissage correct). Sur des poteaux témoins de 6 m, les auteurs ont vérifié que le béton pouvait être simplement déversé du haut du coffrage, ou pompé par le bas. Dans ce dernier cas, ils suggèrent qu'un mortier soit injecté en tête de coulage pour compenser la perte de mortier observée en haut de la colonne.

■ SCHRADER E., *Strain, Cracking, and Failure Described by an Ultimate Modulus*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-22, pp. 419-438, june, 1995.

Cet auteur est connu pour son expérience dans le domaine des barrages en béton. Il présente dans cet article une approche simplifiée (par rapport à celles qu'on emprunterait en France, en utilisant par exemple des calculs aux éléments finis), afin d'évaluer les risques de fissuration dans ces ouvrages. Sous l'angle de ce phénomène, il montre qu'augmenter la résistance du béton ne va pas toujours dans le bon sens.

■ WANG C., DILGER W.H., *Modeling of the Development of Heat of Hydration in High-Performance Concrete*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-25, pp. 473-488, june, 1995.

Les auteurs proposent un modèle donnant la chaleur produite par l'hydratation du ciment en fonction du temps. Dans le cas des bétons à hautes performances (BHP), la faible valeur du rapport e/c interdit l'hydratation complète du ciment. Cela se traduit par une réduction de la chaleur totale dégagée. Par ailleurs, afin d'obtenir une maniabilité satisfaisante, il est nécessaire d'employer des superplastifiants qui ont pour effet secondaire de retarder la prise du béton. Le modèle proposé est donc assorti, dans le cas des BHP, d'un coefficient réducteur et d'un temps de retard dépendant tous deux de la variable e/c.

■ HOLLAND T.C., *Specification for Silica Fume For Use in Concrete*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, ACI SP 154-32, pp. 607-638, june, 1995.

L'auteur dresse un panorama assez complet des spécifications relatives aux fumées de silice, dans la plupart des pays où ce produit est utilisé. Il insiste sur le caractère non significatif de la teneur en silice (qui n'est corrélée avec aucune performance du béton), et donne quelques conseils (avisés) pour dresser ses propres spécifications lorsqu'on désire utiliser ce matériau.

■ TODRES H.A., *Roller-Compacted Concrete - Mixture Proportions and Quality Control*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, Supplementary papers, pp. 115-128, june, 1995.

Une méthode de formulation des bétons compactés au rouleau est ébauchée dans cette contribution. Les aspects granulaires ne sont pas traités ; par contre, l'auteur propose une formule empirique de prévision de la résistance en compression, utilisant comme paramètres la teneur en ciment et, ce qui est plus original, mais compréhensible pour ce type de bétons, la densité.

■ IZUMI I., YONEZAWA T., IKEDA Y., MUTA A., *Placing 10 000 m³ Super Workable Concrete for Guide Track Structure of Retractable Roof of Fukuoka Dome*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, Supplementary papers, pp. 171-186, june, 1995.

Cet article décrit le chantier du plus grand stade japonais de baseball couvert par un dôme rétractable d'environ 200 m de diamètre. Un guide annulaire en béton armé permet d'effectuer l'ouverture du dôme. Pour faciliter la mise en place, ce guide a été construit en béton autonivelant de résistance caractéristique 30 MPa. D'après les auteurs, l'utilisation d'un tel béton a permis d'améliorer la qualité du béton en place, de réduire le coût en personnel et d'accélérer les cadences.

■ ATLASSI E.H., *Influence of Silica Fume on the Properties of Concrete at Varying Water-Cement Ratios*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, Supplementary papers, pp. 187-200, june, 1995.

E.H. Atlassi présente quelques résultats récents qu'elle a obtenus sur la réaction pouzzolanique dans les matériaux à base de ciment, en s'intéressant à l'effet du paramètre eau/ciment, effet qu'elle trouve peu significatif.

■ TAKAGI N., KOJIMA T., *Influence of Superplasticizers on Flowability and Strength of Silica Fume Mortar*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, Supplementary papers, pp. 311-326, june, 1995.

Il s'agit d'une étude comparative sur mortiers, dans laquelle huit fumées de silice et trois superplastifiants ont été testés. Les auteurs en tirent une notion de compatibilité fumée de silice/superplasti-

fiant, d'après eux distincte de la question ciment/superplastifiant. Par ailleurs, ils confirment l'absence d'influence du taux de SiO₂ de la fumée de silice sur les propriétés de mortier.

■ ÖZTURAN T., CECEN C., *Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of Concrete with Different Strengths*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, Supplementary papers, pp. 359-370, june, 1995.

Ces auteurs ont abordé la question de l'influence du granulat sur la résistance du béton. Ils obtiennent les meilleures performances avec un calcaire dur et un basalte. Ils trouvent que l'influence du granulat est plus marquée dans le domaine des bétons à hautes performances (BHP) que dans celui des bétons classiques.

■ KASHIMA S., YAZUDA M., NITTA A., *Evaluation of Construction with Highly Workable Concrete : Construction of Anchorages of The Akashi Kaikyo Bridge*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, Supplementary papers, pp. 481-495, june, 1995.

Cet article se rapporte au futur plus grand pont suspendu du monde. Plus de 300 000 m³ de béton autonivelant ont été utilisés pour les massifs d'ancre. L'originalité du matériau est d'avoir un granulat de diamètre maximal égal à 40 mm et de contenir pas moins de quatre liants (ciment, cendres volantes, laitier et filler calcaire) pour en limiter l'exothermie.

■ AWAD K., AL YAFI A.R., *Self Compacting and Self Levelling Properties of High-Performance Concrete with Triple Blended Binder in UAE*, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, Supplementary papers, pp. 643-662, june, 1995.

À cause d'un environnement très sévère (50 °C, 100 % d'humidité relative, air marin...) et d'une main d'œuvre très peu qualifiée pour une mise en place de bonne qualité, les ouvrages de l'État des Émirats arabes unis vieillissent très mal. Dans ce contexte, les auteurs cherchent à développer un béton autonivelant de résistance élevée (autour de 60 MPa) et de faible perméabilité. Les auteurs présentent six formules de bétons dont une semble leur convenir. Les bétons autonivelants sont donc en passe d'être utilisés en dehors du Japon, en attendant de prochaines expériences en France.