

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail effectué s'inscrit dans le cadre de la formulation des bétons autoplaçant à partir de multiples combinaisons entre les paramètres de composition issus de matériaux localement disponibles tels que le ciment, les fillers calcaires, le superplastifiant et l'eau, il s'est étendu sur deux grandes étapes.

La première concerne la pâte de ciment en étudiant les différents rôles des constituants, de confectionner des pâtes avec les différentes combinaisons possibles et d'effectuer des mesures des réponses rhéologiques.

La deuxième étape a concerné les bétons en passant de l'échelle de la pâte à l'échelle du béton par l'étude de l'association d'un squelette solide à la pâte autoplaçante. Le but final est de contribuer à la formulation d'un béton autoplaçant à base de ces constituants locaux.

Le premier chapitre était consacré à l'analyse bibliographique, nous avons souligné l'historique des BAP, les principales méthodes de formulation de ces bétons ont été citées et commentées et dans ce contexte nous avons souligné qu'il n'y a pas de méthode de formulation des bétons autoplaçants standard, l'expérimentateur dispose donc de multitudes de méthodes de formulation parmi lesquelles il peut choisir la plus convenable en fonction des moyens dont il dispose, aussi il a été constaté qu'il est possible d'élaborer des BAP sans utiliser d'agent de viscosité, celui-ci aurait été remplacé par un volume supplémentaire de fines minérales. Dans ce chapitre, nous avons fait le trait sur les propriétés à l'état frais puis à l'état durci des bétons autoplaçants ; il en sort qu'à l'état frais, les BAP étaient plus fluides et avaient une meilleure ouvrabilité que les bétons vibrés ordinaires. A l'état durci, les BAP sont plus homogène, plus compacts et développent des meilleures caractéristiques de durabilité.

Nous avons ensuite caractérisé l'ensemble des matériaux à utiliser pour la pâte puis pour le béton, certaines caractérisations supplémentaires étaient nécessaires suite à la particularité de l'étude, telle que la quantité d'eau retenue par le mélange de granulats (sable et gravier) et la détermination des compacités expérimentale puis maximale par le principe de l'empilement compressible. Une partie non négligeable a été consacrée aux méthodes à utiliser, notamment celle qui concerne la formulation d'une pâte de ciment, de la recherche multi-échelle prenant en compte la variation simultanée des constituants.

Nous avons aussi fait le trait sur la relation étroite entre les propriétés rhéologiques des bétons qui sont issues de celles de la pâte qui le constitue. L'analyse paramétrique a été faite par le biais des essais préliminaires a permis de définir un domaine expérimental dans lequel les mesures des réponses rhéologiques étaient possibles, éliminant toutes les combinaisons de mélanges présentant des anomalies caractéristiques de ségrégation. Cette démarche a aussi permis de comprendre le rôle de chaque constituant sur l'étalement et l'écoulement de la pâte ainsi que leur apport au mélange et de mettre en évidence un nouveau paramètre concentration volumique en solide qui tient compte de l'apport en solide de tous les constituants (surtout le superplastifiant en tant que constituant liquide) ; mais cette démarche n'a pas permis d'étudier la variation simultanée des paramètres de composition, ce qui nous a mené à utiliser une méthode plus complète répondant à nos hypothèses.

La méthode des plans de mélanges a longtemps été limitée aux usagers chimistes, a été appliquée aux mélanges cimentaires, permettant de réduire considérablement le nombre d'expériences à réaliser, réduisant ainsi notre base de données à 35 expérimentations de mesure au lieu des 296 initialement définies, permettant le passage de la pratique à une étude théorique par la mise en équations mathématiques du problème. L'étude des diagrammes ternaires, des fonctions de désirabilités relatives à chaque réponse (NemrodW) a permis d'obtenir une formulation théorique d'une pâte optimale répondant aux exigences posées. La propriété autoplaçante de la pâte optimale ainsi obtenue a été vérifiée expérimentalement en adoptant les proportions volumiques de chaque constituant générées par le logiciel.

Une nouvelle démarche a été utilisée permettant de transmettre les propriétés rhéologiques de la pâte aux bétons, en associant à cette pâte des squelettes granulaires différents par leurs rapports massiques gravier/sable (G/S), en plus de l'eau retenue par les granulats qui puisent dans l'eau de formulation de la pâte, il était nécessaire d'équilibrer le mélange en eau et le béton obtenu était autoplaçant, ses caractéristiques étaient conformes aux limites de résultats des essais d'ouvrabilité recommandés par l'Association Française de Génie Civil.

La manipulation des volumes de pâte et d'eau nous a mené à déterminer le volume de pâte entourant les granulats grâce à l'utilisation de la théorie de la pâte en excès, celle-ci a été utilisée pour déterminer l'épaisseur de la pâte enrobant chaque granulats de diamètre donné constituant le squelette granulaire, puis généralisée pour la détermination de quantité de pâte totale permettant l'écoulement du béton en diminuant les frottements entre les grains de son

## Conclusion Générale

squelette granulaire, un facteur d'homothétie a été défini pour permettre le passage des granulats brutes aux granulats enrobés d'une pâte ; l'approche a été validée expérimentalement.

La formulation d'un béton aux caractéristiques autoplaçantes passe donc d'abord par la détermination d'une quantité suffisante de pâte permettant son écoulement sans frictions entre ses granulats et d'équilibrer le mélange par la quantité d'eau retenue par les granulats. Cette méthode basée sur l'optimisation de la pâte de ciment est intéressante au sens où elle se base sur une étude mixte : théorique – expérimentale. Une pâte de ciment autoplaçante auquel on injecte des granulats humides forme un béton autoplaçant dont les caractéristiques à l'état frais satisfont aux recommandations de l'A.F.G.C. autrement dit, les caractéristiques autoplaçantes d'un béton viendraient de ceux de la pâte de ciment qui le compose.

En fin du travail, nous pensons avoir clairement exposé une méthode basée sur l'optimisation de la pâte pour la formulation d'un béton autoplaçant, cette méthode a été proposée par des chercheurs du Laboratoire des Matériaux et Durabilité des Construction (L.M.D.C-INSA de Toulouse). L'essentiel du travail sur la formulation a été effectué cependant, il serait intéressant de valider la méthode en étudiant l'influence de la nature des fillers en élaborant des pâtes de ciment à partir de ciment et fines non calcaires (fines pouzzolaniques par exemple) et d'étendre le travail à l'étude des propriétés des bétons autoplaçants à l'état durci et à long terme.