

2- REVUE DE DOCUMENTATION

2-1 Introduction

Les granulats, tels que le sable les gravillons, pierre concassée etc..., sont des matériaux inertes qui constituent le squelette du béton. Dans la composition des bétons, il faut autant que possible, pour des raisons économiques et techniques, utiliser les matériaux locaux. En général, les sables et gravillons naturels alluvionnaires obtenus par criblage parfois avec concassage, sont satisfaisants, de même les roches éruptives ou sédimentaires concassés. Le recours à des granulats artificiels légers, qui sont des produits, tels que l'argile expansée, schistes expansés ou laitiers concassés, permet de formuler des bétons de densité réduite.

D'autre part les granulats ne sont pas réellement inertes et leurs propriétés physiques, thermiques et dans certains cas, chimiques influencent les performances des bétons. Le bon choix des granulats confère au béton une plus grande stabilité sur le plan volumique et meilleure durabilité.

En 1994, les expéditions canadiennes totales de granulats (principalement la pierre concassée, le sable et le gravier) ont, selon les statistiques provisoires les plus récentes, augmenté de moins de 1 % par rapport aux données définitives de 1993, pour s'établir à environ 314 Mt. En comparaison, les expéditions totales dépassaient les 350 Mt/a durant la période précédant la récession, soit de 1987 à 1990.

Les prix unitaires ont augmenté dans l'ensemble au même rythme que l'inflation, et les prix de vente ont fluctué considérablement en fonction de la proximité des centres de consommation. Les mises en chantier, qui constituent un bon indicateur de la demande de la plupart des matériaux de construction primaires, ont été de 168 300 en 1992, de 155 400 en 1993 et de 155 000 environ en 1994.

2-2 Aperçu sur les granulats : [1]

Au Canada, les granulats jouent un rôle essentiel dans la compétitivité économique des zones urbaines; leur importance, à cet égard, est de plus en plus reconnue. **En Ontario**, la nouvelle version de la Loi sur les ressources en agrégats de la province a remplacé en 1990 deux lois connexes et la partie applicable de la Loi sur les mines de la province; elle constitue probablement la loi la plus complète du genre au Canada.

La Aggregate Producers' Association of Ontario (APAO) a tenu en mai 1994 la réunion internationale AGGPAC Canada '94 parallèlement à la conférence minière mondiale Toronto '94. La manifestation, dont le clou fut une grande exposition de matériel d'exploitation, a constitué une occasion inégalée de rendre le grand public conscient de l'importance pour les grandes zones urbaines de disposer à proximité relative de sources de matériaux primaires.

En raison de son niveau relativement élevé d'urbanisation, il est particulièrement important de planifier l'utilisation des ressources en granulats dans le sud de l'Ontario, comme l'indique une étude de la question intitulée Aggregate Resources of Southern Ontario – A State of the Resource Study et publiée à la fin de 1993. Ce rapport, demandé par le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, inclut une analyse globale des facteurs de l'offre et de la demande, des coûts, des questions liées à la législation et à la planification ainsi que des problèmes concernant le recyclage et la réutilisation.

La demande de granulats est principalement locale ou régionale et reflète de près les tendances de la construction au pays. Cependant, dans certaines régions peuplées, les marchés ne sont pas autosuffisants, comme en témoigne leur dépendance par rapport aux expéditions provenant d'autres régions.

De plus, les expéditions internationales de granulats en vrac ont été économiquement viables dans certaines régions.

Sable et gravier On trouve des gisements de sable et de gravier un peu partout. Aussi, les grands producteurs ont aménagé leur installation le plus près possible des grands centres de consommation. Ces grandes exploitations sont habituellement associées à d'autres activités, comme la préparation de béton prêt à l'emploi ou la fabrication de bitume. Elles sont aussi généralement complétées par une multitude de petits producteurs qui desservent des marchés locaux de façon saisonnière ou encore à la demande. Certaines exploitations relativement importantes peuvent ne fonctionner que par moments, servant de fournisseurs à des sociétés

de grands travaux. Il arrive également que des services provinciaux de voirie exploitent des carrières régionales où ils se procurent les matériaux servant à la construction ou à la réparation des routes.

La diversité même des intervenants du secteur des granulats rend difficile la collecte de données complètes sur la production et la consommation. C'est pourquoi certains estiment que la production totale de granulats, toutes sources confondues, pourrait être dans certaines provinces de 25 à 30 % plus élevée que ne l'indiquent les statistiques officielles. Dans ces estimations toutes sources confondues est comprises la production issue des zones désignées, des sources en bordure des routes, des carrières des voiries provinciales, des terres publiques et des terres privées.

Lorsque les gisements actuels situés à l'intérieur des terres seront épuisés, on pourra recourir de façon importante au dragage pour récupérer du sable et du gravier **au Canada**. Les ressources en sable et en gravier au large des côtes du Canada ont été utilisées pour répondre aux besoins de travaux spéciaux réalisés dans la mer de Beaufort, dans la région de Prince Rupert et à l'installation portuaire Roberts Bank près de Vancouver. Dans les provinces de l'Atlantique, les possibilités de délimiter des quantités suffisantes de sable et de gravier à draguer sont bonnes.

- Pierre concassée

De nombreuses entreprises qui produisent de la pierre concassée fonctionnent à temps partiel ou de façon saisonnière, tandis que d'autres sont exploitées comme des filiales de sociétés de construction ou de fabrication non classées dans l'industrie de la pierre.

En outre, certaines installations sont exploitées par des municipalités ou des ministères provinciaux pour leur propre usage. Les carrières où l'on extrait la roche par forage, sautage et concassage sont généralement associées à des travaux réalisés par de grandes sociétés de construction; elles ne servent pas à répondre aux besoins locaux comme c'est souvent le cas des gravières. Selon les coûts et la disponibilité, la pierre concassée fait concurrence au gravier et au gravier concassé comme granulat entrant dans la fabrication du béton et du bitume ainsi que comme ballast pour les voies ferrées et matériaux d'empierrement pour les routes. Dans ces applications, la pierre concassée doit subir les mêmes essais physiques et chimiques que le gravier et le sable.

Dans les provinces de l'Atlantique, les travaux de construction se sont poursuivis à Bull Arm, Trinity Bay (T.-N.), et au gisement pétrolifère extracôtier Hibernia dont le coût est estimé à 5,2 milliards de dollars. Il est prévu que les travaux entrepris sur le système à embase-poids

en béton pour appuyer la plate-forme de forage et de production seront terminés en 1997 et que le forage débutera au cours de l'année suivante.

La société The Newfoundland Resources & Mining Company Limited (NRMC), qui appartient à une filiale de l'Explaura Holdings PLC, a entrepris l'évaluation d'un gisement de calcaire de haute pureté près de son exploitation actuelle de Lower Cove, dans la péninsule de Port-au-Port, à Terre-Neuve. La NRMC prévoit produire des produits spéciaux en collaboration avec sa nouvelle exploitation de granulats conçue principalement en fonction d'expéditions en vrac sur de longues distances. (On peut y accumuler quelque 500 000 t de stocks de réserve, et la capacité de production est d'environ 4,3 Mt/a.) La NRMC envisage de mettre sur pied d'autres terminaux sur la côte est des **États-Unis** qui viendront compléter le terminal qu'elle exploite actuellement à Brooklyn (**New York**).

La province de l'Île-du-Prince-Édouard a conclu à la fin de 1993 un accord avec la Strait Crossing, un consortium de Calgary, pour entreprendre les travaux de construction préliminaires d'un lien fixe de 13,5 km, évalué à 840 millions de dollars, pour relier l'Île-du-Prince-Édouard au Nouveau-Brunswick. On prévoit que les travaux dureront environ cinq ans, à moins de retards imprévus.

Les granulats de granite de la carrière Porcupine Mountain à Aulds Cove, près de Port Hawkesbury (N.-É.), ont été transportés jusqu'aux marchés de toute la région. Ces dernières années, quand il était possible de négocier des conditions avantageuses pour les voyages de retour, des chargements de 50 000 à 60 000 t ont été expédiés aussi loin que Houston (Texas). L'Atlantic Industrial Minerals Incorporated a continué à approvisionner en calcaire la centrale thermique de Point Aconi de la Nova Scotia Power Inc. A partir de son gisement Glen Morrison dans l'île du Cap-Breton. Cette centrale utilise la technologie du lit fluidisé circulant. Étant donné que l'examen des effets environnementaux n'est pas terminé, la Kelly Rock Limited et une entreprise associée n'ont pas encore amorcé le projet d'exploiter sur le littoral une vaste carrière de granulats de construction. Ce projet consiste à mettre en valeur un site en eau profonde au mont Kelly, à environ 40 km au nord de Sydney.

Au Québec, la société Carrières Marconi Ltée, située sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, à Pointe-Noire, près de Sept-Îles, a continué à produire une large gamme de granulats de construction destinés à un vaste marché. Les réserves de gabbro anorthositique sont censées y être très abondantes.

En Ontario, la Dufferin Aggregates (une filiale de la société Ciment St-Laurent Inc.), qui exploite une carrière près de Milton d'une capacité de production allant jusqu'à 7 Mt/a, demeure le plus important exploitant du Canada. Selon la tendance croissante observée dans

l'industrie, on a accordé ces dernières années une attention particulière à la remise en état progressive et continue des sites de la société.

La Manitoulin Dolomite, société appartenant à la Standard Aggregates Inc., exploite des réserves dans

l'île Manitoulin (lac Huron). Environ 2,2 Mt/a de dolomie blanche à grise, à grain fin, sont expédiées vers les marchés de la construction, de l'industrie des produits chimiques et de la métallurgie au Canada et aux États-Unis.

Dans l'Ouest **canadien**, des installations de transport océanique de grande capacité sont utilisées depuis de nombreuses années en Colombie-Britannique pour transporter des granulats de grande qualité ou du calcaire à haute teneur en calcium.

Par exemple, les producteurs de calcaire de l'île Texada, située à environ 100 km au nord-ouest de Vancouver dans le détroit de Georgia, approvisionnent en matériaux bruts les producteurs de ciment et de chaux de la région des basses terres continentales et de l'État de Washington. La Holnam West Materials Ltd. et la société qui l'a précédée expédient des granulats à partir de l'île Texada depuis 1957. Les matériaux d'empierrement pour les routes et la pierraille utilisés dans les basses terres continentales sont également des produits importants; à l'occasion, des commandes spéciales proviennent d'aussi loin que l'Alaska ou le nord de la Californie. L'Imasco Minerals Inc. (l'ancienne International Marble & Stone Co. Ltd.), qui appartient maintenant au Sacks Industrial Group, a continué à produire une large gamme de minéraux utilisés comme matériaux de remplissage et utilisés pour d'autres applications.

SITUATION MONDIALE

L'exploitation de carrières à très grande échelle sur le littoral, où l'on extrait des granulats pour répondre aux besoins des marchés internationaux, continue à susciter beaucoup d'intérêt. Au Royaume-Uni, les pressions liées à l'environnement et à l'utilisation des terres ont causé une diminution relative de la production à partir des carrières continentales et une production accrue à partir des immenses carrières littorales.

En Irlande, une nouvelle carrière sur le littoral, appelée Wimpey Fleming Adrigole Quarry, a commencé à produire en 1993. La production annuelle devrait passer à 1,2 Mt en 1995 et à 2,0 Mt avant la fin de la décennie. Cette installation ne constitue que la deuxième exploitation de grande envergure de ce type en Europe et l'on prévoit que les marchés du Royaume-Uni et de l'Europe continentale pourront être desservis par un vraquier faisant le trajet de retour. Une exploitation de ce genre et de cette envergure a été mise à l'essai pour la première fois en

1986 par la Foster Yeoman Ltd. à sa carrière Glensanda sur la côte ouest de l'Écosse. L'exploitation Glensanda a été suivie par celle de l'entreprise en participation Vulcan Materials Co. dans la péninsule du Yucatan au Mexique ainsi que par un vaste projet, décrit antérieurement, de la société The Newfoundland Resources & Mining Company Limited (NRMC).

La Tarmac plc est en train d'aménager une carrière littorale de 5 Mt/a à Jossingfjord **en Norvège**, tandis que la Schweden Splitt AB met en valeur une carrière de granite près de la côte sud de la Suède, principalement pour les marchés de Berlin et de ceux des rives de la mer Baltique en Allemagne. La Redland Aggregates Ltd. a pour sa part retardé la mise en exploitation d'une vaste carrière littorale dans l'île South Harris en Écosse. Il semble que le projet aurait des incidences inacceptables sur l'environnement dans une zone naturelle de beauté remarquable.

L'extraction de granulats dans le fond océanique est actuellement la principale activité minière océanique liée aux minéraux non combustibles.

Au Japon, le sable marin représente environ 40 % de la production intérieure totale de granulats fins nécessaires à la fabrication du béton. La tendance générale est d'accorder plus d'intérêt aux projets de dragage de granulats au large des côtes à cause de la croissance de la demande et de diverses contraintes en matière de protection de l'environnement et de zonage qui s'exercent sur les gisements se trouvant à l'intérieur des terres. Cela est particulièrement vrai aux États-Unis, même si plusieurs facteurs ont contribué à rendre difficile l'élaboration d'une loi sur l'exploitation sous-marine qui atténuerait les principales inquiétudes de l'industrie et des milieux de la protection de l'environnement.

UTILISATIONS

Le sable et le gravier sont surtout utilisés pour construire des routes et comme granulats dans le béton et l'asphalte. Selon une étude récente effectuée par le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, la construction de maisons unifamiliales crée une demande d'environ 300 t de granulats par unité, tandis que la construction d'immeubles à logements n'en exige que 50 t environ par unité.

L'industrie de la construction consomme plus de 90 % de la production totale de pierre sous forme concassée. Cette pierre est utilisée principalement dans le béton et l'asphalte, pour construire des routes et des voies ferrées ainsi que pour diverses autres utilisations, par exemple comme remblai de construction. Les spécifications varient beaucoup selon les applications prévues et de nombreux essais sont nécessaires pour déterminer si les granulats conviennent à certaines utilisations. Il est également important de mener des essais pour

déterminer la présence d'impuretés organiques ou d'autres matières nuisibles, pour mesurer la résistance des granulats à l'abrasion et aux cycles de gel et de dégel ainsi que pour évaluer les effets de la dilatation thermique, de la porosité et de l'absorption, de la réactivité aux matériaux associés et de la texture superficielle. L'emploi de béton léger dans la construction d'immeubles commerciaux et institutionnels a facilité la construction de bâtiments plus hauts ainsi que de ponts et d'immeubles de plus longue portée nette. L'utilisation de granulats légers offre des avantages supplémentaires : ils confèrent au béton des propriétés d'isolation thermique et acoustique, une résistance au feu, une bonne résistance aux cycles de gel et de dégel et une faible capacité d'absorption d'eau. La production et l'utilisation des granulats légers sont régies par les normes de l'American Society for Testing and Materials (ASTM). Ces normes sont les suivantes : ASTM C 332-91 – Lightweight Aggregates for Insulating Concrete; C 330-89 – Lightweight Aggregates for Structural Concrete et C 331-89 – Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units.

PERSPECTIVES

En 1995, les expéditions de granulats devraient augmenter modérément, si l'on se base sur la poursuite de la vigueur du secteur des travaux de génie. Par ailleurs, les mises en chantier demeureront à environ 156 000 dans le secteur de la construction résidentielle, d'après la Société canadienne d'hypothèques et de logement. Les travaux de génie continueront à profiter du programme fédéral de renouvellement des infrastructures, à frais partagés entre les trois paliers de gouvernement. On prévoit une reprise plus lente dans le secteur de la construction non résidentielle, étant donné les taux d'inoccupation relativement élevés des immeubles à bureaux et des bâtiments industriels.

Dans les provinces de l'Atlantique, la mise en valeur du champ pétrolifère Hibernia au large des côtes et la construction prévue d'un lien fixe qui relierait l'Île du- Prince-Édouard au Nouveau-Brunswick pourraient voir leurs besoins en matériaux de construction de base atteindre leur maximum en 1995 et 1996, respectivement.

La demande de granulats aux États-Unis devrait grimper d'environ 4 % en 1995, grâce surtout aux augmentations enregistrées dans les secteurs des installations institutionnelles et des travaux publics; la hausse de la construction résidentielle devrait être modérée. De plus, les perspectives pour la construction d'immeubles à bureaux et de bâtiments industriels devraient s'améliorer.

La demande de granulats découlant d'importants travaux de construction s'est beaucoup accrue en raison de l'expansion urbaine. Paradoxalement, cette expansion urbaine a non seulement envahi les carrières, les sablières et les gravières, mais elle a également envahi des

régions où se trouvent des réserves et des ressources prometteuses. Dans ce contexte, et compte tenu des progrès accomplis dans les techniques de remise en état, les zonages municipaux et régionaux deviendront probablement plus coordonnés et équilibrés en ce qui concerne la planification et la gestion des terres.

Dans de nombreux secteurs, le sable et le gravier continueront à rivaliser avec la pierre concassée et, dans certaines utilisations, avec les granulats légers. On s'attend à localiser et à évaluer de nouvelles réserves dans les processus de planification urbaine et de zonage régional. Les prix des granulats continueront à croître en raison de l'appréciation des terrains, du recours à des techniques et à de l'équipement d'exploitation plus complexes, de l'épuisement des réserves facilement accessibles et des dépenses supplémentaires résultant de la remise en état des sites.

Les estimations indiquent que les sablières et les gravières actuelles dans certaines régions seront épuisées d'ici la fin de la décennie, ce qui forcera à exploiter des gisements éloignés. Les pénuries prévues pourraient inciter à exploiter des gisements au large des côtes et même à extraire des granulats par exploitation souterraine dans certaines régions.

2-3 Influence du ciment :

L'importance des propriétés normalisées des ciments courants tient à leurs relations, plus ou moins directes, avec les propriétés du béton. Ces dernières dépendent évidemment aussi de nombreux autres paramètres, ce qui oblige à fixer les autres constituants et leurs proportions.

Le ciment est l'élément qui a la plus grande influence sur la qualité du béton.

On peut étudier l'influence des ciments selon leur quantité (dosage) et leur qualité.

2-3-1 Nature où type du ciment :

Selon sa composition, le ciment appartient à un type ou à un autre. La régularité de la composition assure la régularité de la performance du béton vis-à-vis de la durabilité, toutes les autres caractéristiques du béton étant égales par ailleurs. [19].

Une étude expérimentale de VENUAT (figure 2.1) montre l'évolution des résistances en compression d'un béton gâché avec trois ciments de natures différentes.

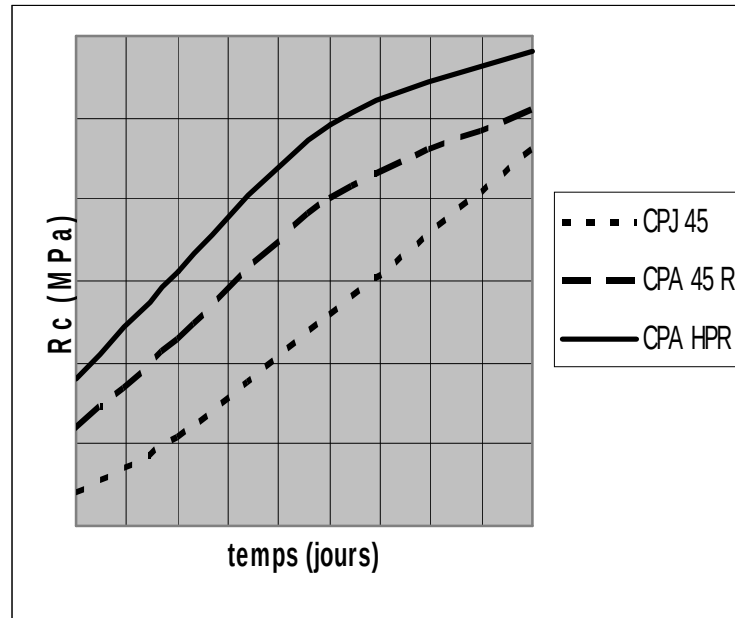


Figure2.1 : Influence de la nature du ciment

D'après VENUAT, plus la teneur en silicate tricalcique (alite) est élevée, plus le ciment est résistant surtout au jeune âge.

2-3 -2 Finesse des ciments :

L'influence des grains fins du ciment est importante aux premiers jours. Ces grains fins ($<10 \mu\text{m}$) sont plus riches en aluminat tricalcique (ce qui accentue la résistance) et s'hydratent plus vite. Pratiquement les résistances croissent linéairement en fonction de la finesse de mouture aux premiers âges et jusqu'à 7 jours. Au-delà, l'influence de la finesse devient relativement moins importante. La figure 2-2 représente l'évolution de la résistance en compression d'un béton en fonction de la finesse du ciment [19].

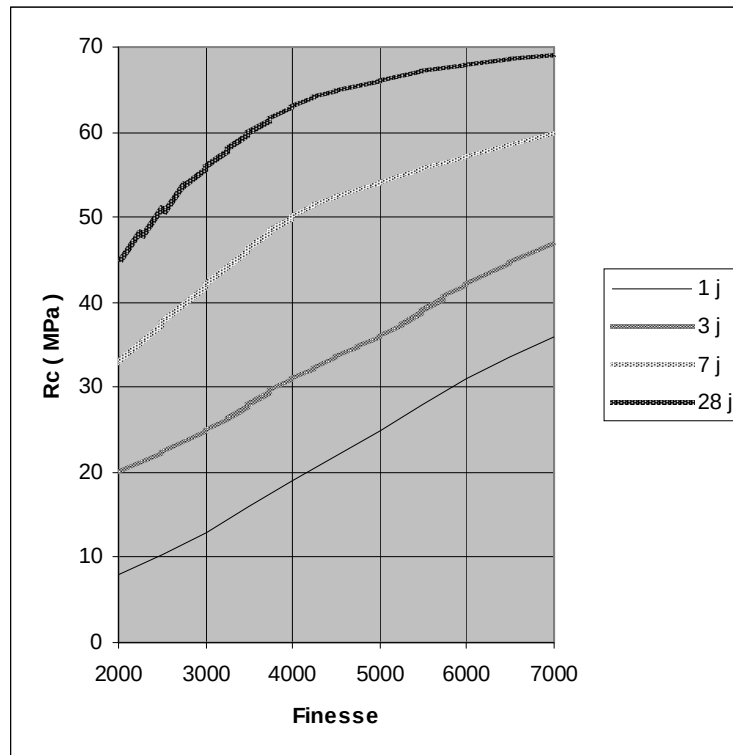


Figure 2-2 : Influence de la finesse des ciments.

2-4 Résistance mécanique à la compression suivant la classe du ciment : [20]

L'une des qualités essentielles à rechercher pour un béton est sa résistance mécanique à la compression.

L'essai est effectué sur éprouvettes cubiques (10x10x10 cm³) en tenant compte des deux modes de conservations suivants :

- Env1 : l'air ambiant du laboratoire ($T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $\text{HR}=45\pm 10\%$)
- Env2 : Cure dans l'eau pendant 28 jours à $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

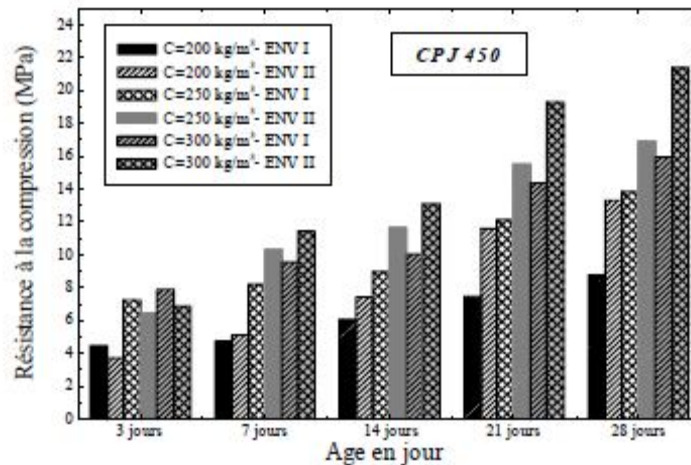


Figure 2-3. Evolution de la résistance à la compression du béton de classe CPJ450 (CPJ42 ,5) en fonction de temps [20]

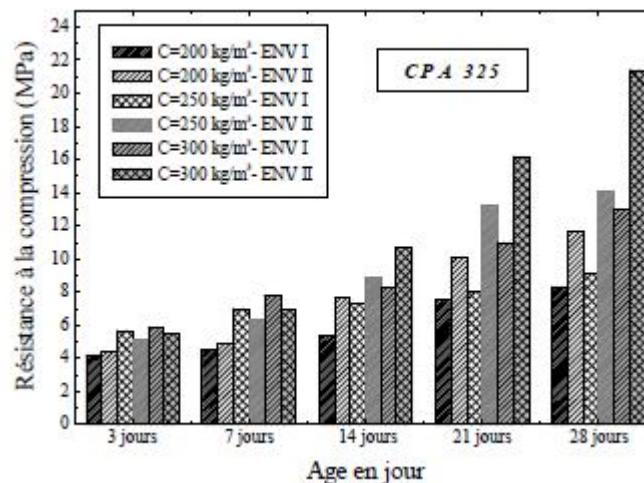


Figure2-4. Evolution de la résistance à la compression du béton de classe CPA 325 (CPA32 ,5) en fonction de temps. [20]

Les figures 2-3 et 2-4 représentent sous forme d'histogrammes les résultats de la résistance à la compression à différents ages de durcissement pour les deux classes de ciment.

Ces résultats montrent que la résistance à la compression augmente en fonction de l'âge de mûrissement. On a pu remarquer qu'au jeune age (≤ 3 jours) les bétons conservés dans l'Env1 Possèdent des résistances supérieures à celles des bétons conservés dans l'Env2. Par contre, au delà de 3 jours, le phénomène inverse est observé pour la majorité des bétons. La cure humide a tendance à augmenter la résistance à la compression par rapport à l'Env1. Celle-ci procure au béton un gain de résistance à la compression de l'ordre de 18 à 34% pour un ciment CPJ 450(CPJ42 ,5) et de 27% à 35% pour un ciment CPA 325(CPA32 ,5).

2-5 les notions actuelles de l'influence des caractéristiques des granulats sur les propriétés du béton. [2]

Comme le montrent plusieurs recherches, les caractéristiques des granulats, telles que la structure, la déformabilité, la résistance de la roche d'origine ainsi que la forme et l'état de surface influent considérablement sur les propriétés du béton. **[Gordon S.S – Izkovitch S.M]**

Au cours du choix des granulats pour la fabrication des éléments en béton armé il est nécessaire de résoudre des problèmes compliqués concernant la dépendance des indices technico-économiques des produits finis des types de matériaux utilisés aussi bien que des facteurs organisationnels et économiques.

On sait qu'il est raisonnable d'augmenter la teneur en granulats dans la composition du béton, surtout la teneur en granulats concassés ou roulés.

On y vient en augmentant la dimension maximale des gros granulats, en les séparant en classes, et en choisissant bien un tel rapport r entre les dosages en sable et en gros granulat qui assure la maniabilité requise du béton, frais.

La composition granulométrique se caractérise par le rapport G/S , la dimension maximale D_{max} le nombre de fractions et leur teneur dans la masse totale des granulats ainsi que la continuité de la granulométrie.

2.5.1 Influence du squelette granulaire G/S sur la maniabilité des bétons

Les caractéristiques du béton peuvent en fait être plus importantes. Il s'agit de propriétés étroitement dépendantes de conditions purement locales, telles les propriétés de ses constituants, ainsi que les propriétés à son état frais (maniabilité, densité, air occlus, retrait) **[4] [5] [6]**. Des propriétés ayant des incidences directes sur d'évidentes qualités non moins importantes, telles la perméabilité et la durabilité.

Au fur et à mesure de l'augmentation du dosage en sable, dans le mélange des agrégats, le prix total des agrégats diminue car le sable coûte en général quelque fois moins cher que les gros granulats. Mais en même temps la surface des agrégats augmente ce qui provoque l'augmentation du besoin en eau et de la dépense en ciment dans le béton frais. Les distances entre les grains de sable diminuent tandis que celles entre les grains de gros granulats augmentent.

On peut conclure que le rapport G/S influe sur la résistance du mortier dans le béton. La variation de la résistance est due à l'écartement des grains de sable sous l'action de la pâte de ciment et à l'écartement des grains des gros granulats provoqué par l'action du mortier de béton.

Les essais des chercheurs [Veriguin K.P, Minas A. I] montrent que la dimensions moyenne des intervalles entre les grains de sable dans le béton a base de gros granulats dont:

$D_{max}=20\text{mm}$, $E/C = 0, 4$, I.v. . 30 à 40 secondes et $G/S = 0,2$ à $0,5$

varie selon le type de sable comme suit:

- pour les sables fins de 17 a 65μ
- pour les sables moyens de 20 à 100μ
- pour les sables gros de 32 à 200μ

La distance moyenne entre les grains des gros granulats dans ces bétons varie:

- pour les sables fins de 2 à 18 mm
- pour les sables moyens et gros de 1 à 17 mm

La résistance maximale correspond à la distance entre les grains des gros agrégats égale 3 à 5mm. On note que la dimension moyenne de la distance entre les grains voisins du sable pour les sables divers varie dans les limites de 40 à 100μ).

Dans l'ouvrage [3] , La composition de base des bétons utilisée est celle de Dreux-Gorisse [10] [11] [12], Le dosage en ciment est pris égal à 350 kg/m^3 , pour tous les bétons.

Le béton B5 réalisé à base de granulats concassés (carrière HEDNA Ain Smara), est un mélange de quatre classes granulaires (0/3, 3/8, 8/15 et 15/25).

Le béton B6 réalisé à base de granulats concassés, un mélange binaire (0/3 et 8/15). Le béton B7 réalisé à base de granulats roulés, un mélange binaire (0/1 et 5/20). Et enfin, le béton B8 à base d'un mélange de sable (0/3 concassé + 0/1 roulé) et graviers concassés (8/15).

Les mesures de maniabilité effectuées ne sont pas faites en vue d'une éventuelle comparaison des différents bétons entre eux, car les quantités d'eau introduites sont différentes. Mais ces mesures permettent une appréciation de chaque type de béton séparément, et ce en fonction du rapport G/S .

Le comportement du béton B5 représenté sur la figure 2.5, se caractérise par un optimum très clair et assez pointu correspondant à la valeur $G/S = 1.6$, et qui offre le meilleur temps LCL (7 secondes) pour un dosage en eau gardé constant. Par ailleurs, le rapport $G/S = 1.6$ obtenu correspond à la tendance actuelle qui est celle sacrifiant légèrement la résistance au profit de l'ouvrabilité (valeurs entre 1.5 à 1.6) [10]. C'est un mélange continu contenant toutes les classes granulométriques, le module de finesse du sable utilisé étant considéré correct ($MS = 2.57$). On notera aussi que la courbe obtenue est assez étendue entre les valeurs de G/S comprises entre 1.2 et 2.0, offrant ainsi un large choix de proportions graviers/sable correspondant à des temps LCL intéressants (7 à 8 secondes).

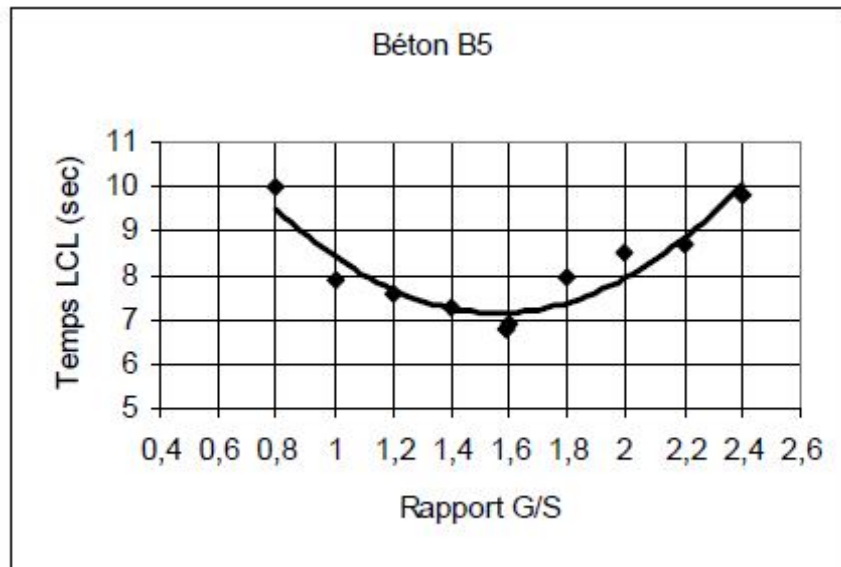


Figure 2.5 : Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B5 (à base de granulats concassés) [3]

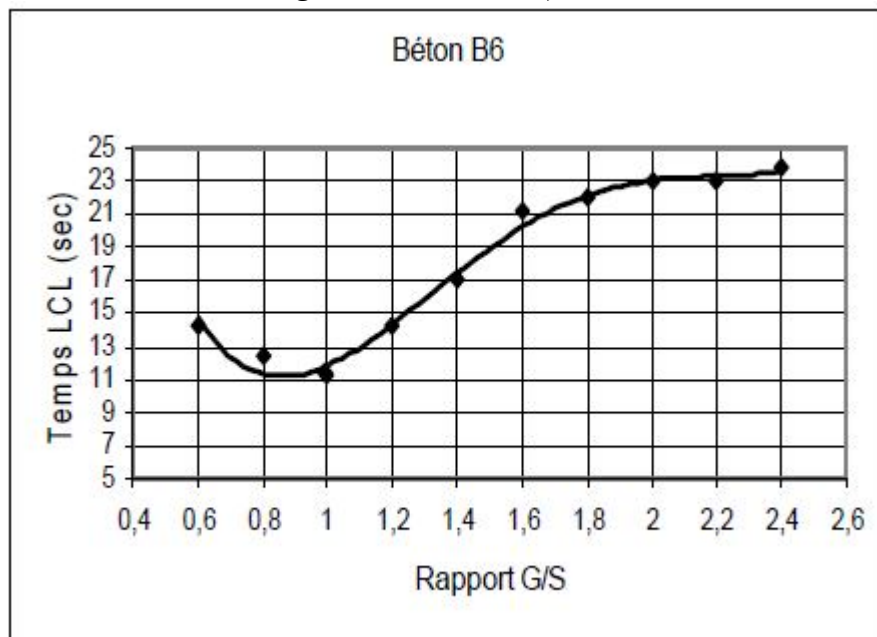


Figure2. 6 : Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B6 mélange binaire à base de granulats concassés [3].

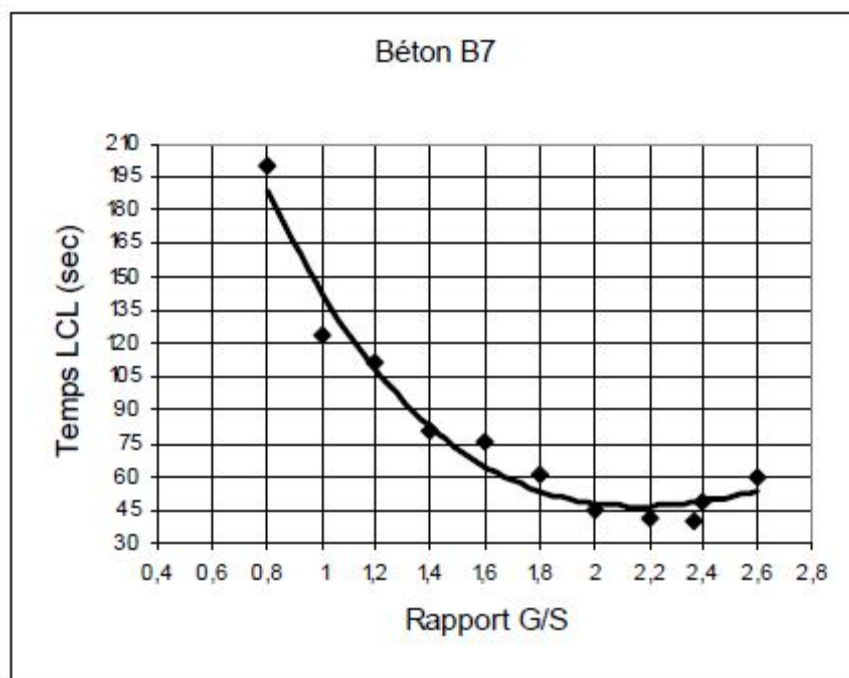


Figure 2.7 : Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B7 à base de granulats roulés [3]

Le béton B6 est obtenu par un mélange binaire de granulats concassés (sable 0/3 et gravillons 8/15). La courbe obtenue présente une double courbure avec un temps LCL minimum (11 secondes) correspondant à la valeur $G/S = 1$ (figure 2.6). C'est un mélange offrant un champ de possibilités de choix de rapports G/S assez réduit.

Ceci est probablement dû au fait de la discontinuité du mélange qui chercherait à réduire sa porosité globale par un volume d'éléments fins plus important (ici les valeurs G/S présentant les meilleurs temps LCL sont inférieurs à 1).

Le béton B7 est un mélange de deux classes granulaires (0/1 et 5/20) à base de granulats roulés. La valeur optimale correspond à $G/S = 2.37$ obtenue pour un temps LCL égal à 40 secondes (figure 2.7). C'est un béton sec avec une mauvaise ouvrabilité. Ceci est probablement dû à la qualité médiocre du sable utilisé qui est un sable trop fin (module de finesse égal à 1.3) situé en dehors des fuseaux préférentiels recommandés [10].

Pour le béton B8 obtenu à base d'un mélange de granulats concassés et roulés (sable 0/1, sable 0/3 et gravillons 8/15), le rapport optimum $G/S = 2$ correspond à un temps LCL égal à 30 secondes. La courbe correspondante (figure 2.8) est étendue entre les valeurs G/S comprises entre 1 et 2.2 correspondant à des temps LCL compris entre 30 et 40 secondes. Néanmoins, la valeur du temps LCL 30 secondes constitue la limite supérieure relative à la qualité de l'ouvrabilité [10]. Probablement ce sont les éléments trop fins, gros consommateurs d'eau qui

sont à l'origine de la médiocrité de l'ouvrabilité des bétons obtenus. Le choix de possibilités du rapport G/S se trouve donc très restreint.

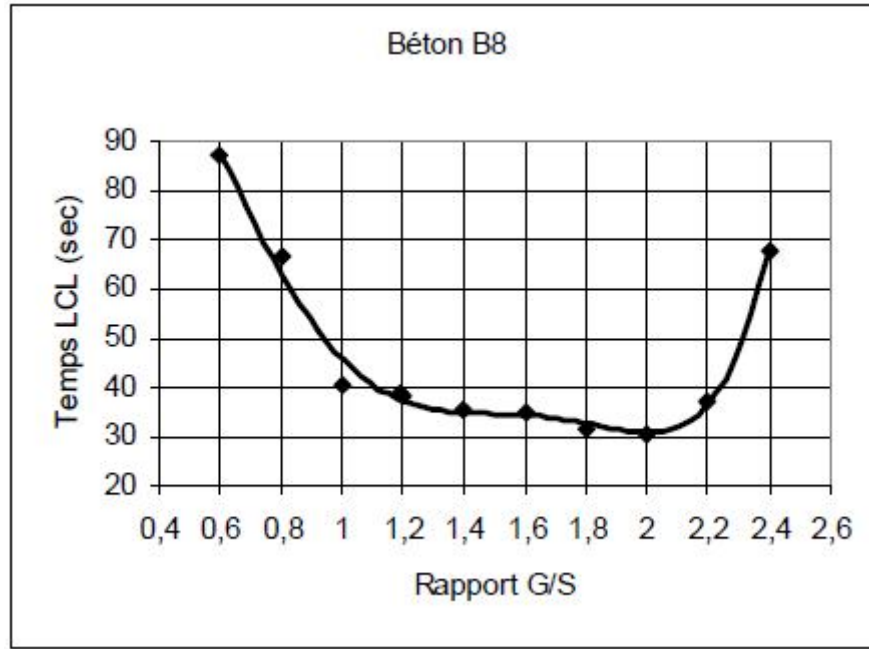


Figure 2.8 : Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B8 mélange binaire à base de granulats concassés et roulés [3]

À travers les résultats des essais portant sur une large variété de bétons (à base de granulats concassés à granulométrie continue, à base de granulats concassés à granulométrie discontinue, à base uniquement de granulats roulés et à base de granulats mixtes concassés-roulés), constitue une des réponses aux attentes des praticiens de la région. Les différents résultats concernant la maniabilité, le squelette granulaire optimum, la densité et le pourcentage d'air occlus, de la variété des bétons, seront sans aucun doute d'un grand intérêt pour des prises de décision quant au choix des matériaux, des formulations, des propriétés des bétons attendues, etc...

BOUTAMINE.S -KHARCHI.F [9], dit que la proportion relative de sable et de gravier doit être telle que le béton présente une homogénéité satisfaisante sans aucun risque de ségrégation. L'influence sera jugé par le rapport G/S . Il a été constaté selon les expériences entreprises que :

a) Plus G/S est élevé, plus le béton présentera des résistances mécaniques élevées par contre présente des difficultés de mise en oeuvre par manque d'ouvrabilité

b) Pour un béton très plastique : riche en mortier , de bonne ouvrabilité donnant des paramètres de bonne apparence avec mise en oeuvre facile mais ne permettant pas des résistances exceptionnelles on prendra

$$1.5 < G/S < 1.7$$

C) Pour un béton normal : du béton armé courant, de plasticité variable en fonction du dosage en eau, mise en oeuvre facile et donnant de bonnes résistances

$$1.8 < G/S < 2$$

c) Pour un béton à forte compacité de consistance ferme présentant des résistances élevées mais sujettes à ségrégation

$$2 < G/S < 2.2 \text{ et exceptionnellement } 2.4$$

LA tendance actuelle est de ne pas dépasser en générale des valeurs de G/S de 1.5 à 1.6 léger sacrifice de la résistance au profit de l'ouvrabilité.

Kaddour CHOUICHA[14],a conclu que l'utilisation de la dimension fractale et de l'étendue granulaire nous permet effectivement d'identifier non seulement chaque courbe granulométrique mais aussi le mélange granulaire au sens où nous pourrions déterminer sa porosité-compacité.

La compacité-porosité des mélanges granulaires n'étant pas une propriété intrinsèque mais dépendante des grains (masse volumique, forme, étendue granulaire, etc....) ainsi que de la mise en oeuvre (paramètres du serrage, forme et dimension de l'éprouvette, etc....)

La recherche du mélange optimal devient simple sinon triviale puisque cela se ramène à utiliser pour tous les mélanges granulaires celui dont la valeur de la dimension fractale est égale à 3 ou lui est très proche. En outre les relations développées indiquent clairement l'importance du rapport d/D puisque l'utilisation d'une grande étendue granulaire (diminution du rapport d/D par adjonction de fines ou de gros grains) participe à la réduction de la porosité, et ce en interaction avec le mode de mise en oeuvre

2.5.2 Influence du squelette granulaire s/g sur la résistance des bétons

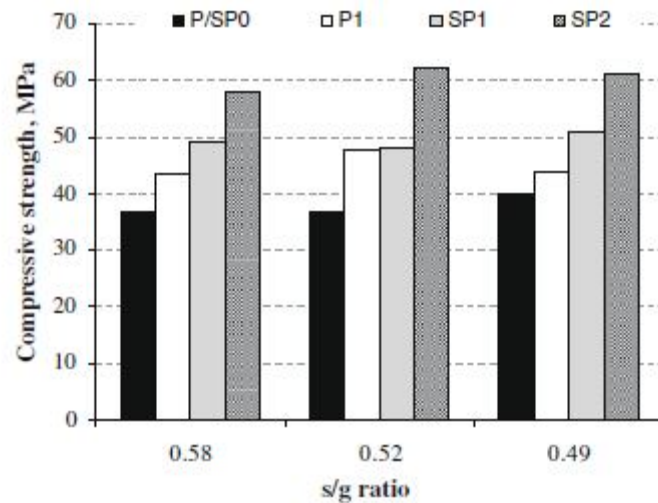


Figure2.9 : Effet de la proportion s/g sur la force compression. [17]

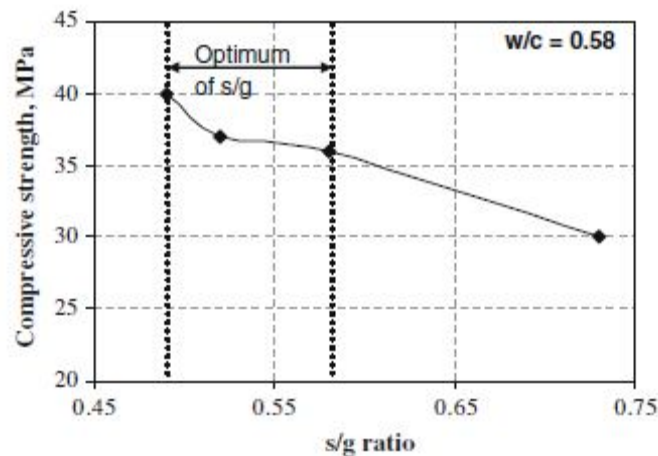


Figure 2.10 : Développement de force compression par rapport a la proportion s/g. [17].

Mohammed Seddik ,Meddah a, Salim Zitouni b [17] , on distingue que la proportion de sable/gravier (s/g) peut aussi illustrer l'effet du contenu global grossier comparé à l'ensemble excellent sur le développement de la force de compression de mélange du béton .La **Figure2. 9** montres le développement de la force de compression par rapport a la proportion s/g. Cela Peut être observé que dans les valeurs aux limites de 0.58 à 0.49, Le s/g n'a aucun effet significatif sur la force de compression .Le contrôle. Cependant, diminuant le e/c par l'addition de différentes dimensions, l'effet du s/g devient plus perceptible. Les résultats ont indiqué que les dimensions d'ensembles tant grossiers qu'excellents devraient être optimisées .Quant aux paramètres de mélange et les propriétés mécaniques prévu. Le s/g peut représenter un des paramètres qui pourraient permettez un meilleur ajustement et un fait de proportionner

du squelette granulaire, du mélange de béton. En fait, la superficie d'ensemble (sable + gravier) et particulièrement celui de l'ensemble grossier devrait être proportionné selon le ciment contenu et sa superficie. Les résultats obtenus ont montré que la valeur optimum du s/g qui peut offrir le plus haut Degré de compacité du squelette granulaire et par conséquent La force de compression la plus haute peut s'étendre entre 0.45 et 0.58 comme indiqué dans **Figure 2.10**. Au delà de cette valeur, une diminution significative de la force de compression pourrait être observée. Cela pourrait indiquer que le contenu global grossier devrait être plus important que celui de l'ensemble excellent.

2.5.3 Grosseur maximale des gros granulats.

Le choix de la grosseur maximale des gros granulats dépend de différents facteurs tels que les dimensions des éléments façonnés, le degré de ferrailage, la disposition de l'armature etc Le savant français **Mr DREUX.G** propose les dépendances suivantes en fonction des dimensions maximales des granulats D_{max} . [15]

En fait, l'appréciation de l'influence de la grosseur maximale des agrégats comme étant le seul paramètre variable entraîne de grandes difficultés car ce ne sont pas uniquement les propriétés des grains des gros granulats qui changent mais aussi la composition du mélange de béton ainsi que les dimensions des éprouvettes.

Et malgré les difficultés citées, des recherches se sont développées dans cette direction dans divers pays.

En U.R.S.S. les essais ont été réalisés où la dimension des morceaux de pierres concassées a été la seule variable. Comme modèle on a pris les boulets en acier polis de diamètre 5 ; 10 et 25 mm. La résistance du béton des éprouvettes cubiques d'arrête 10 cm a été respectivement égale à 392 ; 352 ; et 276 kgf/cm^2 . [16]

D'après ces résultats il a été conclu qu'au cours de l'augmentation de la grosseur des gros granulats de haute résistance dans le béton à composition granulométrique discontinue la résistance du béton diminue.

Aux Etats-Unis des recherches sur l'influence de la grosseur des gros granulats sur la résistance du béton ont été réalisées lors de la construction du barrage Boldouer. Les résultats de ces recherches sont présentés au tableau n° 1. Ces résultats montrent qu'au cours de l'augmentation de D_{max} des gros granulats de 10 à 230 mm la dépense en sable dans le béton diminue en volume absolu de 0,45 à 0,210 tandis que le contenu de gros granulats augmente de 0,136 à 0,6 . Pour les gros granulats de dimensions constantes la résistance du béton augmenterait, mais en pratique elle ne change pas d'où on peut

conclure que l'utilisation des gros granulats de grandes dimensions au lieu des gros granulats fins diminue la résistance du béton.

Avec l'augmentation D_{max} des gros granulats la dépense en ciment a diminué de deux fois pour les bétons de même résistance. Donc, dans les conditions considérées l'augmentation de D_{max} accompagnée de la variation de la composition du béton est efficace. D'après les auteurs des recherches, l'accroissement de D_{max} est avantageux pour les bétons hydrauliques de résistance modérée, car l'abaissement du dosage en ciment mène à la diminution du dégagement calorifique au cours de l'hydratation du ciment et, donc à l'augmentation de la résistance à la fissuration.

D'autres résultats de recherche concernant l'influence de la grosseur des gros granulats sur la dépense en ciment pour les bétons de même résistance et de même plasticité sont présents dans les ouvrages **A. Remadnia [2]**.

On indique que l'abaissement de la résistance à cause de l'augmentation de la grosseur des gros granulats se manifeste plus fort dans les bétons de haute résistance.

Pour les bétons maigres de classes faibles fabriqués à base de mélanges de mêmes résistances et mêmes ouvrabilités, il est plus avantageux d'utiliser les gros granulats de grosseur maximale tandis que pour les bétons gras de haute résistance il vaut mieux utiliser les granulats de petites dimensions. On présente les résultats des essais de 56 compositions des sables et des granulats de différentes carrières des U.S.A.

Tableau :2.1 Influence de la grosseur des gros granulats sur la résistance du béton :

E/C	D _{max} En mm	A.C . En cm	Dépense en matériaux pour Im ³					Démén : des éprouvette s cylin en cm	R _{28j} en Kgf/cm ²
			Pâte de ciment en l	Sable en l	Gravier en l	Ciment en l	Eau en l		
0.54	230	7.5	190	210	600	227	123	92× 183 61× 122 49 ×92	217 204 231
0.54	150	7.5	206	214	580	240	130	92× 183 61 × 122 46 × 92	224 212 220
0.54	75	9.5	238	255	507	275	149	92 × 183 61 × 122 46 × 92	233 229 231
0.53	40	12.7	283	306	411	334	177	61 × 122 30 × 61 15× 30	239 252 262
0.55	20	21	350	370	280	396	216	61× 122 15 × 30 7.5 × 15	225 264 283
0.54	10	23	410	454	136	480	259	15× 30 7.5 × 15	250 276

La grosseur maximale des gros granulats a varié de 20 à 40 mm, pourtant on a remarqué que les variations des propriétés des gros granulats pouvaient influencer considérablement sur la résistance du béton par comparaison à un faible changement de la grosseur maximale.

Parmi les 56 types de gros granulats utilisés, 21 échantillons renferment du quartz comme constituant principal, 20 échantillons sont de préférence à base de calcaire et les quatre autres contiennent du quartz et du calcaire en proportion égales. Les gros granulats à base de calcaire ont provoqué l'augmentation de la résistance du béton de 7% en moyenne par rapport aux bétons à base de gros granulats quartzeux.

La variation de la résistance due à l'influence du type des granulats est beaucoup plus significative que celle due à la variation de leurs dimensions. Les résultats expérimentaux obtenus par d'autres chercheurs concordent seulement pour les granulats de dimensions entre 10 et 20 mm. Pour ces, granulats, la résistance du béton appartenant à l'intervalle 170 à 500 kgf/cm² ne dépend pas de la grosseur des granulats.

2.5.4 : La composition granulométrique des gros granulats

Une bonne granulométrie du granulat doit assurer la diminution du volume des vides entre les grains. Aux usines de préfabrication on emploie des granulats dont les dimensions sont subordonnées aux normes en vigueur françaises et soviétiques

Tableau :2.2 fraction granulometrique utilisees par les normes françaises et soviétiques:

Normes soviétiques	Normes françaises
granulats de 5 a 10 mm	granulats de 6,3 a 10 mm
granulats de 10 a 20 mm	granulats de 10 a 20 mm
granulats de 20 a 40 mm	granulats de 20 a 31,5 mm
granulats de 40 a 70 mm	granulats de 31,5 a 40 mm
	granulats de 40 a 63 mm
	granulats de 63 a 80 mm

La composition granulométrique des gros granulats dans le béton varie dans de larges limites à cause des différents contenus de chaque fraction. Il est nécessaire de savoir comment de telles variations peuvent influencer sur les propriétés du béton et la dépense en ciment. L'expérience montre que les variations du contenu modère de telle ou telle fraction dans les limites 15 à 20 % en masse n'influe que peu sur les paramètres et les propriétés du béton; ces variations de 1,5 à 3 fois mènent à une forte valeur de cette influence.

A. Remadnia [2], On considère les trois exemples suivants :

- la composition granulométrique des gros granulats avec la contenance abaissée (par rapport à l'optimum) de la plus grande fraction , ces essais montrent qu'une telle composition granulométrique entraîne une dépense élevée en ciment mais elle n'influe presque pas sur la résistance du béton.

- Accroissement du contenu d'une fraction quelconque : si la teneur en fraction maximale augmente alors la résistance la ségrégation et à la sédimentation diminuent, la maniabilité et la capacité à l'expédition s'aggravent

- L'augmentation brusque du contenu de la fraction intermédiaire provoque l'écartement des morceaux de la plus grande fraction et la compacité de la disposition des granulats de toutes les fractions dans la structure du mélange de béton ; ce qui provoque soit un excès dans la dépense en ciment, soit l'abaissement de la maniabilité.

2.5.5 L'influence de la composition granulométrique discontinue :

On utilise des agrégats à composition granulométrique discontinue pour diminuer le dosage en ciment sans changer les propriétés de béton, notamment sa résistance et son ouvrabilité.

L'analyse montre que la discontinuité provoque la ségrégation du mélange de béton qui augmente au cours de l'augmentation de maniabilité.

On sait que la ségrégation détériore la structure du béton, par contre si celle-ci n'aura pas lieu la résistance du béton ne change pas même dans le cas de la granulométrie discontinue. Pour l'éviter il est recommandé d'utiliser les mélanges secs avec l'affaissement du cône d'Abrams égal à zéro. On prépare ce mélange à base de sables moyens et gros.

2.5.6: la granulométrie du sable

La granulométrie du sable a une grande importance pour la qualité des bétons. Une bonne granulométrie du sable permet d'économiser le liant sans réduire la résistance mécanique du béton. La granulométrie du sable doit assurer :

- d'une part un volume minimal des vides entre les grains.
- une surface spécifique minimale des grains.

L'analyse réalisée a été consacrée à la mise en évidence de l'influence de la composition granulométrique du sable sur les propriétés du béton et des mélanges de béton. d'après l'analyse expérimentale on voit que lorsque les intervalles entre les particules de sable sont petits, ils peuvent être remplis partiellement d'air ou d'eau mais ils ne se remplissent pas de pierre de ciment, ce phénomène abaisse la résistance au gel et la résistance du béton ainsi que son étanchéité. **Gorisse . F [12].**

La granulométrie continue du sable améliore les propriétés rhéologiques du béton frais telles que la plasticité, la résistance à la ségrégation et à la sédimentation. La granulométrie du sable est appréciée à l'aide du tamisage

- Les grains de sable dont les dimensions s'approchent de celles du ciment jouent en réalité le rôle d'adjuvants minéraux actifs ou inertes en fonction de leur composition minéralogique et du régime de durcissement.

Le sable dont les dimensions dépassent 50 μ , peut être considéré comme un vrai agrégat. On recommande de séparer les fractions inférieures à 0,15 mm en deux ou trois fractions, par exemple :

- la fraction 0 à 50 μ
- la fraction 50 à 100 μ
- la fraction 100 à 150 μ

Pour préciser l'influence de la granulométrie du sable sur la résistance du béton et la consommation en ciment, **Mr Gordon** a étudié les sables de granulométries diverses; cet auteur a conclu que la granulométrie du sable de 0,15 à 5 mm n'influe pas sur la résistance du béton si sa composition est optimale.

D'autres chercheurs ont aussi confirmé cette conclusion.

On souligne que lorsqu'on remplace un sable par un autre et que cela fait varier la résistance du béton, la cause ne consiste pas en granulométrie. Il faut la chercher et dans d'autres facteurs tels que: la composition du béton, son ouvrabilité, le coefficient de compactage du béton frais, la composition minéralogique et forme des grains ainsi que leur propreté.

Le facteur de grande importance est la dépense en ciment qui dépend beaucoup de la granulométrie du sable. Le béton préparé à base de sable moyen exige une dépense minimale en ciment. Le besoin en eau et la dépense en ciment augmentent de 8 à 20 % quand on utilise le sable fin; pour le sable gros cette augmentation est insignifiante. Le fait que l'utilisation des gros sable mène un petit excédent de dépenses en ciment peut être expliqué, par le contenu diminué de la fraction inférieure à 0,6 mm

Dans ces sables, ce qui influe négativement sur l'ouvrabilité du béton frais. Les sables fins augmentent la surface spécifique totale ce qui exige aussi l'augmentation de la dépense en pâte de ciment dans les mélanges de béton de même maniabilité. Il convient de noter que les auteurs précédemment cités indiquent qu'au cours de la réalisation des recherches de l'influence de la granulométrie du sable sur la résistance du béton, il n'était pas possible de sélectionner la granulométrie des sables comme l'unique variable car la variation de la composition est aussi nécessaire.

2.5.7 : Forme des agrégats et état de leur surface

Pour faire l'analyse quantitative de l'influence des paramètres géométriques des agrégats sur les propriétés du béton, **Gorisse . F [12]**, recommande d'utiliser le coefficient volumétrique afin de tenir compte de la forme des granulats.

Donc afin de déterminer le relief d'un morceau de granulat, il est nécessaire de savoir sa surface totale, son volume V et ses dimensions.

Pour d'apprécier le caractère du relief de la surface, qui influe sur la cohésion entre les grains du granulat et la pierre de ciment. On a proposé la classification des gros granulats, selon la forme ils se subdivisent en :

- granulats cubiques (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur inférieur à 2)
- granulats irréguliers (dont le rapport de la longueur à l'épaisseur varie de 2 à 3)
- granulats anguleux (avec le rapport de la longueur à l'épaisseur supérieur à 3)

Quelques chercheurs indiquent le rôle négatif des agrégats lamelleux sous forme d'aiguilles dont l'utilisation diminue la résistance et augmente la dépense en ciment.

Mr L'Hermite ne permet l'utilisation des gros granulats sous forme d'aiguilles et de plaques lamelleuses qu'en faible quantité.

En procédant à un bon compactage on peut obtenir des bétons avec des caractéristiques mécaniques élevées en utilisant des agrégats sous forme de lamelles. Quelques auteurs proposent l'addition dans la composition 30% des agrégats sous forme d'aiguilles. La présence de morceaux en aiguilles en grande quantité (supérieure à 50 %) entraîne des difficultés au cours du compactage du béton provoquant ainsi l'abaissement de la résistance mécanique du béton.

En fait, on indique que la présence d'agrégats sous forme de lamelles influe positivement sur la résistance du béton à la flexion et par fendage. Pour la teneur en gros granulats sous forme de lamelles égale à 30% la maniabilité ne change pas tandis que sa résistance à la compression augmente de 20 %, celle à la flexion et par fendage augmente de 5%.

2.5.8 La résistance de la roche maternelle des agrégats et leur cohésion avec la pierre de ciment :

Dans tous les ouvrages on affirme que l'adhérence entre les granulats et la pierre de ciment influe sur la résistance du béton, cependant il est pratiquement difficile de mettre séparément en évidence l'influence de chaque facteur car tous les composants travaillent ensemble dans le mélange de béton ; voilà pourquoi on devrait considérer leur influence mutuelle sur la résistance du béton.

Mr Gordon S.S a fait les essais des bétons étuvés à base de pierres concassées de natures différentes. Il a confectionné des bétons tels que :

- le rapport E/C varie de 0.3 à 0.65

- la dimension maximale des granulats : $D_{max} = 20 \text{ mm}$
- le rayon moyen des mailles de ferrailage : $R = 0.3$
- l'indice de vibration : $I.V = 60 \text{ à } 100 \text{ secondes}$
- la dépense en eau : $162 \text{ à } 172 \text{ l/m}^3$

Les résultats des expériences :

On a donc établi une grande limite des écartements possibles de la résistance du béton en dépendance des propriétés des gros granulats. Ces essais utilisent comme facteur de base une grande variabilité de la résistance des roches dont l'influence est plus grande par rapport à celle des autres facteurs seulement pour des rapports E/C faibles. Par contre pour des rapports E/C élevés, la résistance de la roche ou des pierres concassées n'influe que faiblement sur la résistance du béton.

On mentionne que l'interaction chimique des granulats avec la pierre de ciment, se manifeste surtout et en un degré important pour les bétons à base de granulats artificiels poreux dont la résistance n'est pas grande.

L'influence des réactions chimiques des roches dures avec la pierre de ciment sur la résistance du béton est sensiblement inférieure à celle de la résistance et de l'hétérogénéité de la roche même.

2.6 Influence du rapport E/C sur la résistance en compression

S. FERKOUS, H. HOUARI, S. E. BENSEBTI, Z. GUEMMADI. [3], on montre que Les résistances en compression des bétons à 7 et 28 jours, mesurées sur cylindres (16 x 32 cm), sont présentées sur les figures 2.11 et 2.12. Les bétons BO5, BO6 et BO7 présentent des comportements similaires. Des optimums sont notés pour chacun des bétons ($E/C = 0.55$ pour BO5 et BO6 ; 0.65 pour BO7 ; 0.40 pour BO8). Par ailleurs, on remarque que tous les bétons étudiés présentent presque la même résistance (inférieure à 20 MPa) pour des valeurs voisines du rapport $E/C = 0.70$. Les meilleures résistances sont données pour les rapports $E/C = 0.50$ et 0.55 (supérieures à 20 MPa), tandis que la meilleure performance est donnée par le béton BO8 ($R_c = 32 \text{ MPa}$ pour $E/C = 0.4$).

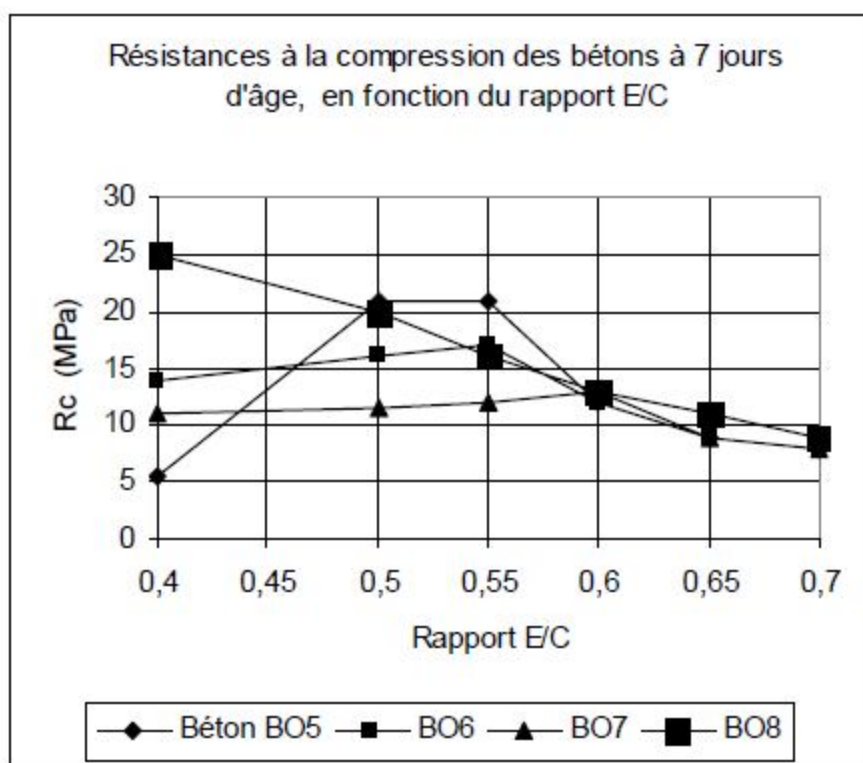


Figure 2.11 : Influence du rapport E/C sur les résistances en compression des bétons à 7 jours d'âge [3]

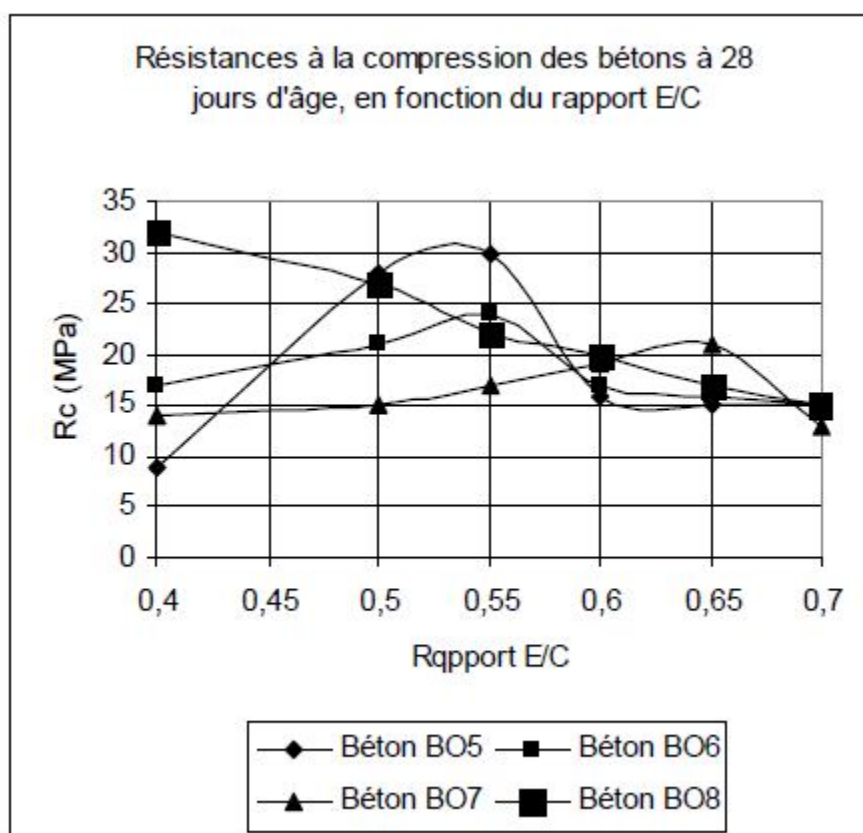


Figure 2.12 : Influence du rapport E/C sur les résistances en compression des bétons à 28 jours d'âge [3]

On observe que pour le béton BO7, quel que soit le rapport E/C, on a des résistances très faibles (inférieures à 20 MPa). Ceci est en accord avec les résultats relatifs aux densités et aux pourcentages d'air occlus obtenus. Ces résultats s'expliqueraient par la mauvaise liaison entre les granulats roulés manquant de rugosité et la pâte de ciment.

La liaison étant engendrée en partie par l'imbrication des granulats et de la pâte de ciment hydratée **Neville A.M [8]**.

Néanmoins, faut-il encore observer que pour le béton BO5, la courbe en cloche avec maximum entre les valeurs $E/C = 0.50$ et 0.55 , renseigne que le béton confectionné avec $E/C = 0.40$ est un béton insuffisamment serré car il déroge à la règle générale bien établie que la résistance à la compression est une fonction décroissante du rapport E/C, selon Duff Abrams et René Féret cités dans **Neville A.M [8]**.

2.7 Influence de la teneur en fines sur le pourcentage d'air occlus dans les bétons

On constate qu'en général, le pourcentage d'air occlus diminue de 0.5 à 1 % avec l'utilisation des fillers jusqu'à 15 %. Mais reprend au-delà de cette valeur. L'optimum est atteint pour la valeur 15 %. Ce qui est en accord avec les résultats obtenues des densités des bétons. Par ailleurs, on notera que les bétons confectionnés avec du sable brut ont un pourcentage d'air occlus plus faible [3].

2.8 Influence de la teneur en fines sur la résistance à la compression des bétons

On constate que les résistances à la compression augmentent avec le pourcentage des teneurs en fillers et passent par un extremum pour 15 % de fillers environ, et ce, quel que soit le béton et le temps du durcissement. Au delà de la teneur en fillers de 15 %, les résultats s'inversent et diminuent plutôt rapidement. Des résultats en accord avec ceux trouvés précédemment et relatifs à la compacité.

Néanmoins, on constate que l'augmentation des résistances reste inférieure à 18 % dans tous les cas étudiés Figure 2.13 [3].

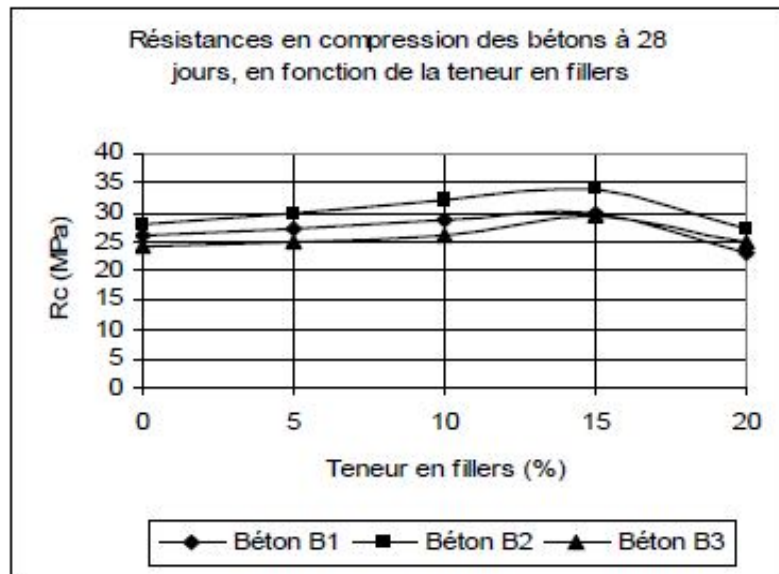


Figure 2.13 : Résistances en compression des bétons à 28 jours, en fonction de la teneur en fillers [3]

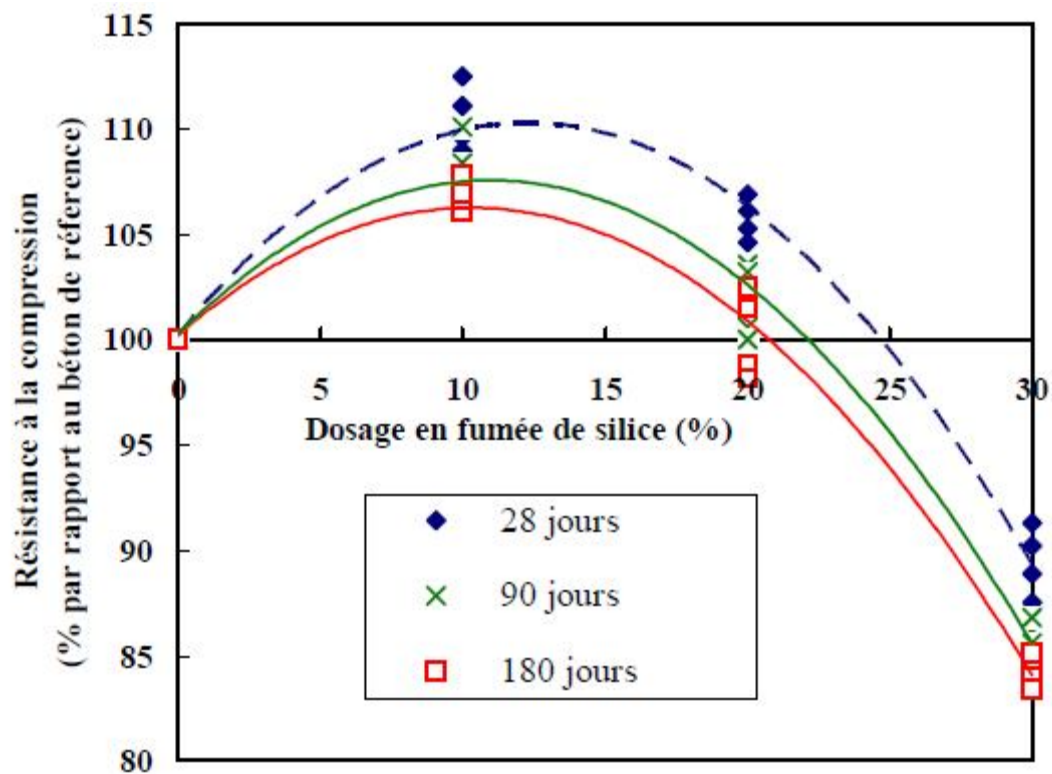


Figure2. 14. Influence de la teneur en fumée de silice sur la résistance en compression pour les différents E/(C+FS) [21].

El hadj. KADRI [21], l'effet de la teneur en fumée de silice sur la résistance des bétons confectionnés à maniabilité constante peut être apprécié au moyen des courbes de la figure 6. L'examen de ces courbes aux échéances de 28, 90 et 180 jours, montre que l'optimum de remplacement du ciment par la fumée de silice correspond à des teneurs de l'ordre de 10 à 15 %, en accord avec les résultats de [30]. Toutefois, le pourcentage d'augmentation de la résistance du béton avec 10% de fumée de silice reste modéré, et ne dépasse guère 10%. A plus long terme, ce gain de résistance décroît régulièrement, comme le montre la figure 6 pour les échéances de 90 et 180 jours. Enfin, au-delà d'une teneur de 20 à 25% de fumée de silice, l'effet de dilution de la fumée devient prépondérant et conduit à des résistances plus faibles qu'avec le béton de référence.

Dans l'ouvrage [22] L évolution de la résistance en compression en fonction du temps, présente la même allure quelque soit la teneur en fillers .Globalement, a 28 jours la résistance en compression des bétons de 18% de fillers est supérieur a celle du béton sans fillers. Par contre pour une teneur de 24% la résistance obtenue est faible. Entre 7 et 28 jours l'accroissement de la résistance en fonction du temps est de façon sensiblement linéaire. Au-delà de 28 jours l'effet de fillers tend à se stabiliser progressivement jusqu a 90 jours. Ce qui nous pousse à dire, qu'à plus long terme, la contribution à la résistance devient minime.

2.9 Conclusion

- La partie essentielle 80% a 90% du mélange du béton est composée de granulats, voilà pourquoi la nature et la qualité des granulats déterminent le choix du mode de calcul du béton et ses composants ainsi que le pronostic des propriétés de béton frais et durci.
- Les principales caractéristiques du granulat influant sur les propriétés des bétons sont les suivantes :
 - leur structure
 - leur déformabilité, et la résistance de la roche d'origine
 - forme des grains, leur granulométrie et leur grosseur maximale
 - la texture des grains
 - la nature minéralogique
 - présence des impuretés organiques poussiéreuses.
- Il est à signaler que lors des essais il n'était pas possible d'étudier séparément l'action d'un ou de plusieurs facteurs en le prenant en qualité d'une variable indépendante ce qui complique la tâche et donne des résultats approximatifs.
- De nos jours, la technologie du béton prend en considération de nombreux critères des granulats, qui malheureusement, ne permettent pas d'apprécier la dépendance exacte des propriétés du béton, ce qui rend la base d'estimation quantitative de la qualité des granulats absolument insuffisante, ce qui influe sur la qualité des bétons frais et durcis.
- Les critères énumérés précédemment donnent la possibilité de créer des bétons possédant des propriétés bien déterminées et constantes, ce qui peut éclaircir l'influence des granulats sur les propriétés des bétons frais et durcis.