

VIII

COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

par

F. CAMPUS *

* Professeur émérite de l'Université de Liège.

VIII

COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

par

F. CAMPUS

En premier lieu, il convient de mettre en exergue l'importance économique de la durabilité du béton.

Les essais de résistance à l'action marine ont été effectués à la demande de l'Administration des Ponts et Chaussées après des échecs importants et très coûteux. Actuellement, elle est prémunie contre de tels insuccès et il faut espérer qu'elle le restera.

Les dalles de trottoir de la communication IV constituent un cas d'un ordre de grandeur différent. Mais son importance économique relative n'est pas moindre et elle devient grande en valeur absolue lorsqu'elle intéresse des surfaces considérables. Il en est ainsi de tous les bétons de revêtements, notamment de berges.

On s'attendrait à moins de risques économiques pour les éléments préfabriqués. En réalité, il y a lieu de s'en prémunir par des précautions adéquates. Il y a eu anciennement, il peut encore y avoir, une tendance à la légèreté par la réduction extrême des dimensions (et des recouvrements des barres) et à la facilité de fabrication par le mouillage excessif du béton, dont il résulte l'état de dégradation prononcé que l'on observe fréquemment des piquets, parois de clôtures, châssis, caniveaux, bordures, etc. Un cas important et qui a préoccupé sérieusement les distributeurs d'énergie électrique a été la "maladie des poteaux" qui a sévi depuis une vingtaine d'années [1] .

Dans la référence [1] , on trouve que cette maladie a affecté surtout les poteaux fabriqués de 1924 à 1930 et qu'elle est imputable à l'imperfection caractérisée de la fabrication. Elle a en effet très probablement joué un grand rôle. On se souvient de l'engouement déplorable pour les bétons très liquides qui s'est produit après la fin de la première guerre mondiale, sous l'influence d'une technique alors répandue aux Etats-Unis.

Mais je suis d'avis que les prescriptions techniques nouvelles de l'époque ont aussi une part de responsabilité (par exemple la circulaire française du 30 avril 1924).

A la suite d'une publication de M.E. LODS de 1925 [2], j'ai été conduit à énoncer de sérieuses réserves [3] au sujet de dispositions techniques qui me paraissaient sujettes à caution. L'identité des dates de 1924 dans les références [1], [2] et [3], après 26 années d'écart, est frappante. Dans une "Note de la Rédaction" de la référence [3], on trouve ce qui suit : "... les instructions du 26 octobre 1906 pouvant, dans celles de leurs clauses où elles sont plus rigoureuses, être sans inconvénients amendées pour des pylônes construits en usine". (Les parties soulignées sont en italique dans le texte). Cinq lustres plus tard, la "maladie des poteaux" ne justifiait pas tout-à-fait l'optimisme des électriciens rédacteurs de ces lignes.

Le développement probable de la préfabrication doit faire attacher une grande importance à l'aspect économique de la durabilité. Il faut sans doutes y trouver la raison des innovations importantes, déjà signalées dans l'Introduction, du récent Code de bonne pratique britannique pour le béton préfabriqué [4], associant explicitement la résistance et la durabilité.

Il en résulte que la question de durabilité ne peut être absente de la conception technique des constructions. Le plus souvent, elle est dominée par les considérations de résistance, c'est-à-dire d'économie d'établissement. L'évolution dans cette voie va éventuellement à l'encontre de la durabilité, ainsi qu'il a été indiqué dans l'Introduction. Il est intéressant de comparer à ce propos les effets du calcul dit classique et du calcul dit à la rupture.

Il est connu depuis longtemps que le calcul classique sous-estime la résistance ultime du béton. Fr. V. Emperger, R. Maillart et d'autres ont mis cela en évidence depuis plus d'un tiers de siècle.

Le calcul à la rupture peut en tenir compte de deux manières. Si la qualité du béton est maintenue, en élever la sollicitation. Ceci conduit à diminuer la rigidité des poutres fléchies, avec la conséquence possible d'une déformabilité accrue, qui peut entraîner des dégradations diverses dans les bâtiments, dont le Prof. RÜSCH a publié récemment un relevé impressionnant [5]. Ou bien les dimensions sont maintenues; alors la qualité du béton peut être diminuée en rapport avec sa sollicitation réelle. Ceci peut conduire au risque de dégradation propre des éléments en béton armé lorsqu'ils sont exposés à quelque action destructrice, telle que le gel, par exemple.

Il n'y a pas lieu pour cela de prendre position contre le calcul à la rupture; cela n'est ni scientifique, ni constructif. Ce qu'il faut faire, c'est se rendre compte que ce calcul à des

conséquences par rapport à la technique usitée précédemment et éprouvée. Toute modification technique, qualifiée de progrès, qui tend à serrer de plus près les réalités et à réduire les marges de sécurité exige inévitablement et impérieusement, par définition même, une attention plus grande à toutes les circonstances de chaque cas concret.

Une des circonstances importantes est l'ambiance avec ses caractères physiques et chimiques, leurs fluctuations et leurs effets sur les éléments de la construction. Elle exige donc des ingénieurs d'étude et des constructeurs des qualités aussi plus élevées. Comme cette exigence peut se trouver éventuellement en défaut, il est normal que les prescriptions réglementaires stipulent les précautions nécessaires et suffisantes.

Il me paraît utile de commenter ces précautions à la lumière des exposés qui ont été faits. Elles concernent la qualité du béton mis en oeuvre et la protection des armatures.

L'élément altérable du béton est le ciment, en admettant que les granulats inertes soient inaltérables, durs, non poreux, non gélifs et imparméables. C'était le cas pour tous les bétons dont il a été question dans les communications. C'est aussi généralement le cas en Belgique.

Cependant, c'est aussi le ciment qui doit assurer une inaltérabilité relative du conglomérat, c'est-à-dire sa durabilité. Il faut pour cela que le béton soit compact, dense, imperméable et peu absorbant. Cela exige une bonne composition granulométrique, une quantité de ciment suffisante en rapport avec celle-ci et une proportion d'eau de mouillage aussi réduite que le permettent les circonstances de la mise en oeuvre.

On serait ainsi amené à mettre en exergue la qualité de la pâte de ciment, qui dépend de sa proportion en poids d'eau. C'est fondé d'un point de vue purement scientifique, presque abstrait, mais cela n'a guère d'effet utile autre que celui d'inciter à limiter le "facteur eau-ciment". Mais ce facteur ainsi limité est toujours supérieur à celui qui correspond à une pâte vraie de ciment (par exemple en moyenne 0,28 pour une pâte normale). D'autre part, la notion de cette pâte de ciment ne conduit pas à la définition de la quantité minimum de ciment.

Pratiquement, celle-ci est généralement définie en poids minimum de ciment par mètre cube de béton. L'accroissement de l'activité des ciments a conduit à admettre des valeurs plutôt faibles de ce poids minimum, parce qu'elles assurent encore une résistance suffisante et que l'on se borne à cette considération. On perd ainsi de vue que pour avoir un béton qui ne soit pas trop poreux, une diminution de la quantité de ciment doit être compensée par une addition de sable. C'est-à-dire que la diminution de la quantité de ciment entraîne un amaigrissement amplifié du mortier, la quantité de sable variant en sens inverse de celle du ciment.

Je suis personnellement d'avis que c'est la qualité du mortier qui est garante de la durabilité.

Je me fonde pour cela sur les résultats des essais de résistance à l'action marine, que font l'objet de la communication II. On y a étudié trois mortiers composés de 1500 kg de sable du Rhin 0/2 et de 300, 450 ou 600 kg de ciment, avec respectivement 200, 215 et 230 litres d'eau (C/E = 0,67 , 0,48 ou 0,38).

Quant au béton, son mortier correspondant à 835 kg de ciment pour 1500 kg de sable et 376 litres d'eau (C/E = 0,45).

On peut estimer que ces essais de mortiers ont établi :
que pour 300 kg de ciment, il n'y a pas de durabilité
que pour 450 kg de ciment, la durabilité est restreinte à l'absence d'actions agressives notables
que pour 600 kg de ciment, une certaine durabilité est déjà réalisée.

A ces mortiers correspondent les bétons suivants :

gravier 5/20	1250 kg		
sable 0/2	885 kg	825 kg	750 kg
ciment	175 kg	250 kg	295 kg
eau	118 kg	119 kg	133 kg

On peut en conclure que l'on ne peut espérer obtenir un béton certainement durable avec 250 kg de ciment par m³ de béton. On ne devrait pas descendre sous 300 kg de ciment par m³ de béton pour les constructions en béton armé soustraites aux intempéries et aux fluctuations atmosphériques. Pour les autres ouvrages en béton armé, il faut considérer 350 kg de ciment par m³ comme minimum pour les constructions peu exposées, davantage pour les cas d'ambiance agressive caractérisée.

Ces conclusions s'expliquent par le fait que le mortier à 450 kg de ciment pour 1500 kg de sable est encore poreux. Avec 600 kg de ciment, il est strictement compact. Cette compacité totale est plus assurée avec une quantité plus élevée encore de ciment, compte tenu de l'hétérogénéité inévitable des mélanges. D'après l'analyse a posteriori des dalles de trottoir de la communication IV, le mortier des dalles de 1936 contiendrait 627 kg de ciment pour 1500 kg de sable et celui des dalles de 1947, 427 kg de ciment pour 1500 kg de sable. Comme une analyse de cette nature n'est pas très précise, la différence est probablement plus considérable.

Le béton du béton armé doit posséder des qualités élevées de durabilité pour assurer une protection durable des armatures. Les armatures sont en effet disposées au voisinage des faces de coffrage, aussi des angles; elles sont souvent assez peu écartées

entre elles. Il en résulte :

- 1) une diminution de compacité de nature géométrique par multiplication d'effets de paroi.
- 2) une diminution de compacité par effet mécanique, en raison de la perturbation du compactage du béton par la présence des armatures. Cet effet est surtout important lorsque le compactage est perpendiculaire aux armatures (poutres horizontales); il est moindre lorsque le compactage est parallèle aux armatures (colonnes).
- 3) une ségrégation du béton lorsque les armatures empêchent le passage des éléments les plus gros.

Ces effets sont d'autant plus considérables que les armatures sont plus grosses, que les gros grains du béton sont plus gros, et que les distances des armatures aux coffrages et entre elles sont plus faibles.

Il en résulte que ces distances doivent être supérieures aux dimensions des plus gros grains du béton, à mon sens d'au moins 50 %. Malgré cela, le béton sera inévitablement plus riche en éléments fins et en mortier entre les faces de coffrage et les armatures, rien qu'en raison de l'effet de paroi, à supposer nulle toute ségrégation et le compactage normal.

Ainsi qu'il a été indiqué dans la communication III, le retrait en ambiance non saturée doit donc être plus grand à la surface près des armatures que dans la masse. De plus, il est empêché par les armatures. Il en résulte des tensions d'extension dans le béton entre les surfaces libres et les armatures, suivant des plans radiaux à celles-ci. Si ces tensions ne sont pas suffisantes pour provoquer des fissures longitudinales près des armatures, leur existence certaine est toujours propre à contribuer à cette fissuration, quelle qu'en soit la cause initiale. Or, c'est par des fissures et des écaillages longitudinaux que se manifeste toujours la dégradation du béton armé.

L'effet du retrait empêché est d'autant plus important que l'armature est plus grosse et que sa distance à la paroi est relativement plus faible. Cette distance, comme aussi celle des barres entre elles, ne devrait jamais être inférieure à 1,5 (voire 2) fois le diamètre. Par conséquent, ce diamètre ne devrait pas non plus dépasser la dimension maximum nominale des gros grains du béton.

Il y a intérêt à employer des barres assez fines, ce que permettent les aciers à haute résistance. L'adhérence renforcée limite la fissuration transversale; éventuellement il faudra éviter que les canelures tendent à favoriser la formation de fissures longitudinales.

Bien entendu, il faut que toutes ces dispositions soient réalisées après la mise en oeuvre. Ceci implique que les armatures soient invariablement fixées dans leurs positions correctes et que

le placement et le compactage du béton ne puissent les déranger. On se rend compte que ces conditions sont assez précaires et qu'il est prudent de conserver des marges.

Par ailleurs, les règlements fixent souvent des valeurs absolues des distances des armatures aux faces de coffrage et entre elles. Je suis d'avis qu'il est préférable de les exprimer en fonction du diamètre des armatures et de la dimension maximale des agrégats.

Les essais à la mer relatés dans les communications 2 et 3 montrent que dans un environnement humide, même agressif, un revêtement de 1 cm seulement d'épaisseur peut réaliser une protection d'une durée supérieure à 30 ans, à condition que ce revêtement soit parfait. C'est dire que la qualité du béton de revêtement a quasiment plus d'importance que l'épaisseur. De toute évidence, une couverture épaisse mais défectueuse n'assurera pas une protection efficace. Mais il est plus facile de réaliser du béton de bonne qualité si l'épaisseur est plus grande. En dehors de la considération des tensions thermo-hygrométriques en milieu sec, c'est la considération de la qualité du béton de recouvrement qui doit justifier une valeur minimale de son épaisseur. Celle-ci peut dépendre des circonstances. Elle devra par exemple être plus grande pour des éléments horizontaux à armatures assez serrées (poutres) que pour des dalles horizontales à mailles de quadrillage assez larges et que pour des colonnes, en général peu armées. Pour des colonnes frettées, il en est autrement.

Je crois néanmoins que 2 cm constitue un minimum absolu, rarement admissible; 2,5 cm ou 3 cm me paraissent préférables. Je n'ai pas d'objection à des valeurs minimales de recouvrement plus élevées, telles que 5 cm, voire 7 cm, dans des milieux agressifs sévères, tels que les mers septentrionales. Je voudrais seulement mettre en garde dans ce cas, que l'épaisseur de la couverture ne dispense pas d'un béton de bonne qualité et durable. C'est une question d'appréciation que de compter l'épaisseur de recouvrement minimum sur les armatures les plus extérieures, lorsqu'il s'agit d'étriers. Il est assez fréquent que ceux-ci soient dénudés et corrodés, ce qui n'est pas admissible pour une construction durable et résistante. Il est recommandable de recourir aux étriers les plus minces possibles, quitte à en augmenter le nombre. On décidera en fonction des circonstances.

J'arrive ainsi à la conclusion assez optimiste que de bons matériaux bien dosés et bien mis en oeuvre, permettent de réaliser des constructions durables en béton et en béton armé, pourvu qu'elles soient bien conçues.

Seulement, on voit que cela pose assez bien de conditions, qui sont aléatoires comme l'établit l'expérience.

L'étude récente du Prof. H. RÜSCH [6], fondée sur une importante enquête internationale et son interprétation statistique, est

à tout prendre assez encourageante sur la qualité des bétons des ouvrages réels. Elle montre, à quoi l'on pouvait s'attendre, qu'en dehors d'influences accidentelles, par exemple climatiques et contre lesquelles il faut se prémunir, les écarts résultent principalement de facteurs personnels et d'organisation : qualité de la main d'oeuvre, qualité du matériel et de sa conduite, qualité du contrôle.

Dans l'Introduction, il a déjà été plaidé en faveur d'une bonne formation professionnelle de la main d'oeuvre de bétonnage. La nécessité d'un contrôle de qualité a aussi été indiquée. Ceci est corroboré par l'étude du Prof. H. RÜSCH, qui envisage pour les grands chantiers, où le dosage est effectué en poids et de préférence automatiquement, le contrôle par un ingénieur ad hoc. Ceci rejoint les observations que j'ai reproduites dans l'Introduction au sujet du contrôle de travaux de bétonnage exécutés avant la première guerre mondiale. Il s'agissait de la partie aérienne de la jonction Nord-Midi à Bruxelles, exécutée par les services de la voie et des travaux de l'Administration des chemins de fer de l'Etat. Le contrôle était assuré par un chef de section (actuellement un inspecteur technique), dont le niveau de formation correspond aux conducteurs civils des Universités ou aux ingénieurs techniciens.

Je crois avoir ainsi considéré la durabilité du béton dans toute sa généralité; mon objet n'était pas d'approfondir des cas particuliers importants, qui méritent des études spéciales et qui concernent le comportement de constructions en béton et en béton armé dans des milieux particulièrement agressifs. Tous les cas de corrosion et de dégradation présentent naturellement un intérêt propre et digne d'étude.

Il n'entre pas non plus dans le cadre de ces commentaires de traiter des adjuvants et additifs, soit du béton (entraîneurs d'air, plastifiants, accélérateurs, résines, etc), soit des armatures (galvanisation, enduits, inhibiteurs de corrosion, etc). Il y a peut-être là une réserve de progrès techniques pour l'avenir, à condition que l'efficacité soit pratiquement garantie d'une manière économique. En attendant et peut être pour longtemps encore, un emploi judicieux et pas trop mesquin du ciment semble pouvoir satisfaire aux deux conditions énoncées.

Des matériaux nouveaux peuvent faire naître de nouveaux problèmes. Il est possible qu'ils se répandront en raison de l'épuisement des gîtes naturels de granulats de bonne qualité. Certains pays sont déjà plus ou moins contraints à utiliser des agrégats douteux, comme la pierre-ponce au Japon, ou des granulats alcali-réactifs, comme les silex, ou enfin des granulats artificiels. Certains posent des problèmes locaux particuliers susceptibles de solutions appropriées (silex du Danemark, granites kaolinisés du Portugal, etc) [7] [8] .

Un aspect plus général est celui des agrégats poreux, absor-

bants et éventuellement gélifs, soit naturels (pierre-ponce), soit artificiels (laitier granulé; argile, schiste ou laitier expansé, scories calcinées agglutinées, etc). Ces agrégats moins lourds en raison même de leur porosité présentent aussi comme attrait la réduction du poids du béton.

Il n'entre pas dans mon propos de dissenter sur les propriétés de ces bétons, qui ouvrent un champ spécial d'investigation et qui demanderont une judicieuse attention pour éviter des mécomptes en pratique. Le code de bonne pratique britannique pour les éléments préfabriqués [4] met en garde contre la possibilité d'un retrait et d'un fluage accru de ces bétons par comparaison avec le béton dense normal. Il prescrit une majoration de 50 % de l'épaisseur de couverture des armatures et envisage, le cas échéant, une augmentation de la quantité de ciment.

Dans une conférence faite il y a peu d'années à l'Université de Gand, le Professeur R.H. EVANS, de l'Université de Leeds, relatait, avec de suggestives projections à l'appui, des dégradations importantes et précoces de constructions armées en béton d'agrégats artificiels. Lors des Journées de la corrosion organisées à Bruxelles par Cebelcor en juin 1965, le Dr. L.H. EVERETT, de la Building Research Station (G.-Br.), a exprimé à ce sujet un avis plus réservé mais concordant.

Selon ce qui précède, on peut concevoir comme suit un béton durable confectionné à partir de gros granulats légers. Il faut protéger les granulats comme les armatures en les séparant de l'ambiance par un revêtement suffisant d'un mortier durable. Il faut donc diminuer le volume de gros agrégats et augmenter celui de mortier.

Par exemple, le béton de la communication II comporte en volumes absolus :

gravier 5/20	0,472	(1250 kg)
sable 0/2	0,238	(630 kg)
ciment	0,113	(350 kg)
eau	0,158	
vides	0,019	

Au moyen du même mortier, on pourrait par exemple composer théoriquement le béton suivant :

granulats légers 5/20	0,400	
sable 0/2 de rivière	0,271	(716 kg)
ciment	0,128	(400 kg)
eau	0,180	(180 kg)
vides	0,021	

L'enrichissement en ciment s'accompagne d'une augmentation proportionnelle du sable. Le mortier reste le même et est durable. Il s'agit seulement, bien entendu, d'un exemple théorique. Il faudrait connaître en réalité la granulométrie et la compacité granulaire des agrégats légers. Il faut naturellement éviter la tendance à la ségrégation, c'est-à-dire chercher la consistance appropriée.

Une communication récente de M. le Professeur F.G. RIESSAUW [9] cite quelques compositions de béton léger, dont une (béton II) n'est pas tellement différente de la composition théorique précitée. On peut l'évaluer d'une manière présumée comme suit :

agrégat léger 5/20	0,42
sable léger 0/5	0,25
ciment	0,12
eau	0,21

Cette étude est consacrée aux propriétés mécaniques de ces bétons, aussi à la perméabilité; la durabilité n'est pas envisagée.

Pour ce qui est de la résistance mécanique, il est connu depuis longtemps (FERET, ROS, BOLOMEY) que la résistance à la compression du béton est du même ordre que celle de son mortier, à condition que la résistance à l'écrasement des gros agrégats ne soit pas sensiblement plus faible.

L'épaisseur de recouvrement des armatures doit être majorée, tant en valeur normale que minimale, afin de réaliser une protection suffisante par le mortier.

Il ne sera pas question ici de la durabilité des bétons dont tous les agrégats, y compris le sable, sont légers, c'est-à-dire poreux. C'est là un problème en soi.

*

* *

Toutes ces considérations me semblent synthétisées d'une manière concrète et pratique dans le document déjà mentionné dans l'Introduction [10] publié par la "Cement and Concrete Association" de Londres. Avec son accord, j'en reproduis ci-après une traduction libre, dans laquelle les indications de poids anglaises ont été transformées en volumes absolus, l'unité étant des lors indifférente (mètres cubes, yards cubes ou autres). Les dimensions des granulats ont aussi été traduits en mm et arrondies. Cette traduction figure en annexe. Elle est donnée surtout comme document important par son principe, mais non pour le détail concret qui est spécifiquement pour l'usage britannique, notamment en ce qui concerne les catégories d'agrégats, leurs granulométries et

leurs compacités. Mais il est apparent que ce modèle est facilement susceptible d'adaptations nationales et même internationales sur un plan plus général.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R. DIENNE. La grave maladie des poteaux en béton armé, avec discussion (Technisch-Wetenschappelijk Tijdschrift, Nr 10, oktober 1951, Antwerpen, p. 329-339).
 - [2] E. LODS. Considérations sur le calcul des poteaux en béton armé à section rectangulaire et à armatures symétriques pour lignes électriques aériennes. (Revue générale de l'électricité, Paris, Tome XVIII, n° 4, 25 juillet 1925, p. 153-163 et n° 5, 1er août 1925, p. 193-205).
 - [3] F. CAMPUS. Considérations sur le calcul des poteaux en béton armé à section rectangulaire et à armatures symétriques pour lignes électriques aériennes : étude critique du mémoire de M. E. LODS (Revue générale de l'électricité, Paris, Tome XVIII, n° 25, 19 décembre 1925, p. 1023-1029).
 - [4] The Council for Codes of Practice. British Standards Institution - British Standard Code of Practice CP 116 : 1965. The structural use of precast concrete.
 - [5] H. RÜSCH. Bauschäden als Folge der Durchbiegung von Stahlbeton - Bauteilen. (Bericht Nr 68-1966. Material Prüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Hochschule München).
 - [6] H. RÜSCH. Zur statistischen Qualitätskontrolle des Betons (Materialprüfung, Nr 11, 1966).
 - [7] Publication préliminaire et Publication finale du Colloque R.I.L.E.M. sur la durabilité du béton, à Prague 1961 (Académie tchécoslovaque des sciences, Prague).
 - [8] Colloque R.I.L.E.M. sur le comportement des bétons exposés à l'eau de mer, à Palerme, 1961.
 - [9] F. RIESSAUW. Application de la précontrainte au béton léger. (Revue C. Génie Civil, Gand, n° 12 - 1965).
 - [10] Cement and Concrete Association. Recommendations for Standard Mixes and Durability of Concrete (London, 1965).
-

IX

ANNEXE A LA COMMUNICATION VIII

CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION

**Recommandations pour les compositions normales
et la durabilité du béton**

IX

ANNEXE A LA COMMUNICATION VIII

CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION

Recommandations pour les compositions normales et la durabilité du béton

COMPOSITIONS NORMALES

Les compositions normales ont été d'abord préparées pour le Code de pratique pour l'usage structural de béton préfabriqué CP 116, pour deux niveaux de contrôle correspondant à des écarts normaux de 35 kg/cm² et de 70 kg/cm².

Les amendements de 1965 au CP 114 pour l'usage structural du béton armé dans les bâtiments donne les écarts normaux de 70 kg/cm² mais non ceux de 35 kg/cm².

Lorsque des mesures de contrôle propres à donner des déviations normales inférieures à 35 kg/cm² sont appliquées, les compositions normales indiquées au CP 116 peuvent être employées et référence serait faite à ce code. Pour les travaux courants pour lesquels des compositions en volumes apparents seraient employés et pour lesquels le niveau de contrôle de qualité n'est pas connu, un écart normal de 70 kg/cm² serait approprié et le tableau donne les compositions correspondantes en poids.

Les compositions normales sont basées sur l'emploi d'agrégats satisfaisant au B.S. 882 ou au B.S. 1047 et de ciment satisfaisant au B.S.12 ou au B.S. 146. Si on utilise d'autres ciments, on demandera l'avis du producteur.

MODIFICATIONS (voir remarques du traducteur in fine)

Les poids indiqués des agrégats gros et fins sont établis pour un matériau ayant un poids spécifique moyen de 2.6. Ceci est applicable à la plupart des agrégats dans le Royaume Uni. Pour les agrégats ayant un poids spécifique extérieur au domaine 2.5-2.7, des ajustements proportionnels seraient faits pour les poids des compositions.

Les compositions sont aussi basées sur l'emploi d'un sable naturel usuel situé dans la zone 2 du B.S. 882. Pour d'autres sables les ajustements suivants doivent être faits.

Pour du sable naturel de la zone 1, augmenter le volume absolu de sable d'au moins 0,0045 ; réduire le volume absolu du gros agrégat de la même quantité.

Pour du sable naturel de la zone 3, diminuer le volume absolu du sable d'au moins 0,0045; augmenter le volume absolu du gros agrégat de la même quantité.

Pour du sable concassé de la zone 1, réduire le volume absolu du gros agrégat d'au moins 0,0088 et augmenter le volume absolu du sable d'environ 0,0045.

Pour du sable concassé de la zone 3, réduire le volume absolu du sable d'au moins 0,0045.

Exceptions. Les compositions normales peuvent ne pas être satisfaisantes pour certaines applications de béton (si des dosages nominaux en volumes apparents n'auraient pas été applicables). Dans ces conditions, la composition devrait être déterminée pour répondre aux circonstances. Des exemples de ces circonstances sont :

- (1) En cas d'emploi de ciments spéciaux, se référer aux conseils du producteur.
- (2) En cas d'emploi d'entraîneurs d'air.
- (3) Quand le sable est dans la zone 4 du B.S. 882 ou a une granulométrie inusuelle n'entrant dans aucune des autres zones.
- (4) Si l'aspect du béton est important ou doit produire quelque effet spécial.
- (5) En cas d'emploi d'agrégats légers.
- (6) Quand des propriétés spéciales sont requises, telles que faible dégagement de chaleur, haute résistance, haute densité ou consistance convenant au pompage, etc.

Durabilité. Exigences minimales pour la durabilité et la protection des armatures correspondant aux épaisseurs de recouvrement recommandées dans le Code de pratique approprié, à du béton pleinement compacté et à des agrégats durables.

Circonstances	Désignation de composition normale minimale	Compositions calculées		
		Facteur (eau totale/ciment) maximal	Quantité minimale de béton kg/m ³ de béton compacté	Rapport ciment/agrégat en poids
Béton protégé et béton extérieur non exposé aux circonstances ci-après	CP 114-210	0,6	270	1:6,5
Béton exposé à de fréquents mouillages et séchages par de l'eau fraîche ou à un gel occasionnel	CP 114-265	0,55	313	1:5,5
Béton armé exposé au gel modéré, à des atmosphères industrielles corrodantes ou béton massif exposé à l'eau de mer	CCP 114-320	0,50	356	1:4,5
Béton armé exposé à l'eau de mer	Utiliser une composition calculée d'une résistance minimale de 420 kg/cm ² à 28 jours.			
Béton exposé à l'attaque de sulfates	Utiliser du ciment résistant aux sulfates et la composition recommandée par le producteur du ciment.			
Béton exposé à des gels rigoureux ou à l'action de glace fondue par des répandages de sel	Utiliser une composition calculée avec entraînement d'air d'une résistance minimale de 280 kg/cm ² à 28 jours.			

Remarques du traducteur

Les valeurs numériques indiquées sont les transformations légèrement arrondies des valeurs en unités anglaises :

$$\begin{array}{l} 1\text{b/in}^2 \quad \text{en} \quad \text{kg/cm}^2 \\ 1\text{b/yd}^3 \quad \text{en} \quad \text{kg/m}^3 . \end{array}$$

Au surplus, les volumes absolus indiqués au premier tableau définissent seulement les proportions relatives en volumes absolus du ciment, du sable et des gros agrégats. Les proportions en poids s'obtiendraient en multipliant les volumes absolus par les poids spécifiques correspondants.

Ces indications restent néanmoins représentatives des usages britanniques et paraissent assez différentes dans certains cas des usages continentaux, lesquels notamment ne comportent pas un domaine aussi étendu de variation de la quantité de gros agrégats ni des variations aussi étendues du rapport du gravier au sable.

Considérons à titre d'exemple la composition normale CP 114-265-19 mm - moyenne, avec $E/C = 0,55$. On obtient la composition pondérale

gros agrégat	1090 kg	vol. abs.	0,412
sable	636 kg		0,240
ciment	400 kg		0,129
eau	219 kg		0,219

Si l'on compare cette composition à celle du béton de la Communication II

gros agrégat	1250 kg
sable	630 kg
ciment	350 kg
eau	158 kg ,

béton qui s'est bien comporté en immersion marine à mi-marée pendant 30 années, on aperçoit les différences de tendances. Encore s'agit-il là d'une composition pour laquelle ces différences sont les plus atténuées.

Ceci n'enlève rien à la signification de principe importante du document anglais, qui constitue un memento précieux pour les auteurs de projets et les constructeurs. Il est facilement possible de l'adapter à toutes circonstances et de préférence sous une forme simplifiée (c'est-à-dire une moindre variété de compositions). On remarquera que toutes les compositions normales de chaque désignation, c'est-à-dire de même résistance et même durabilité présumées, contiennent le même mortier; seule la proportion de gros agrégat est différente de l'une à l'autre selon la consistance et le calibre.