

Nous disposons en général des informations suivantes :

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrailé,

La connaissance d'une résistance nominale (σ_n) en compression à 28 jours et en admettant un coefficient de variation, la résistance moyenne serait :

$$\sigma_{28} \approx \sigma_n + 15\% \cdot \sigma_n$$

La consistance désirée est fonction de la nature de l'ouvrage, de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc...

La plasticité désirée mesurée par l'affaissement au cône d'Abraham

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Bétonnière (le cas échéant),

Moules cylindriques 16x32,

Cône d'Abrams,

Brouette ou seaux, et dispositifs de tarage associé comme règle à araser par exemple,

Pelle et Truelle,

Aiguille vibrante $\Phi = 25$ mm (si test de convenance sur éprouvette de 16x32),

Eprouvette graduée,

Balance 30 Kg

Consommables :

Ciment

Eau,

Sable,

Gravier

Huile de coude

MODE OPERATOIRE

a/ Dosage en ciment, en eau.

A partir de la formule ci-dessous on détermine le rapport $\frac{C}{E}$

$$\sigma_{28} = G \cdot \sigma_c \cdot \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

Avec :

σ_{28} : résistance moyenne en compression désirée à 28 j en bars

σ_c Classe vraie du ciment (à 28 j) en bars

C : Dosage en ciment (en kg/m^3)

G: Coefficient granulaire. (voir tableau ci-dessous)

E : Dosage en eau sur matériaux secs (en litres pour 1 m^3 de béton)

Qualités des granulats	Dimension des granulats		
	Fins (D < 16mm)	Moyens (25<D<40 mm)	Grossier (D>63mm)
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,40	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Tab. : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G. Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).

Note n° : 1 Annexe : 2 Série : 01 Fiche n° : 08	Statut : Projet Révision de la fiche : 0	Page : 2/11
--	--	-------------

Il faut souligner que le dosage en ciment est fonction du rapport $\frac{C}{E}$, du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. Ainsi l'abaque ci-après permet d'évaluer approximativement C en fonction de $\frac{C}{E}$ et de l'ouvrabilité désirée qui est souvent fonction des moyens de serrage du béton.

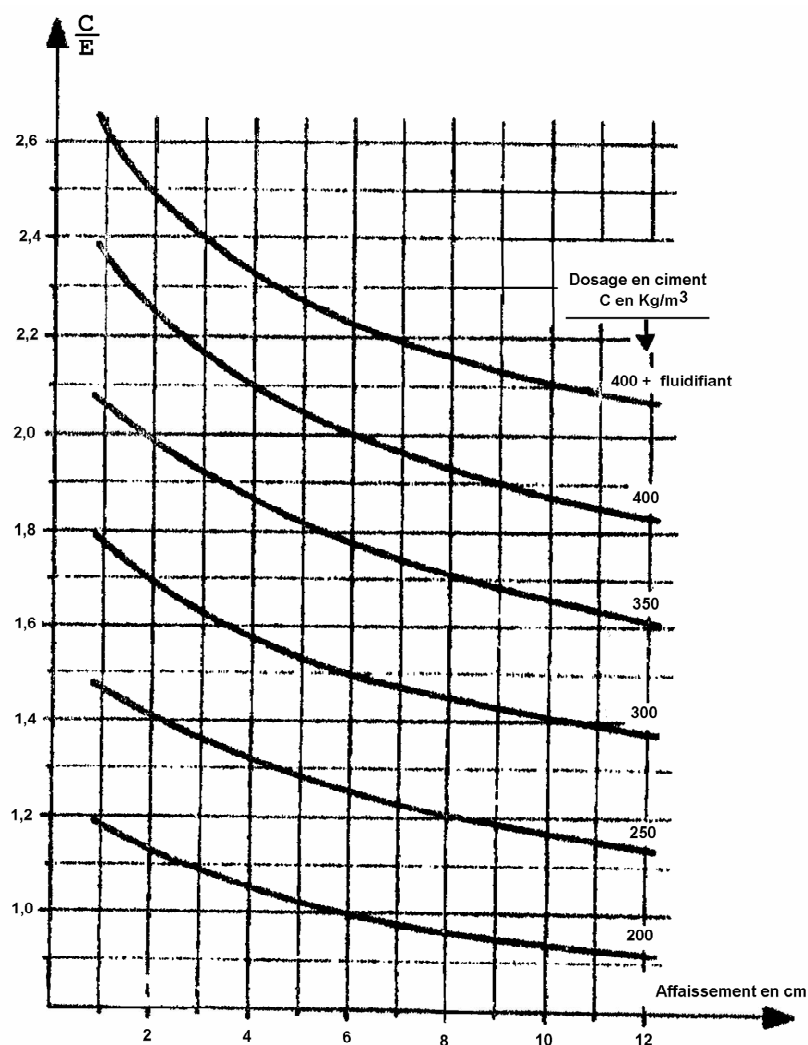


Fig. : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)

Ayant fait le choix du dosage en ciment C, on déduit alors le dosage approximatif en eau E qu'il conviendrait d'ajuster ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité.

L'abaque ci-dessous nous permet d'effectuer une première correction en tenant compte de la dimension maximale des granulats (D maxi).

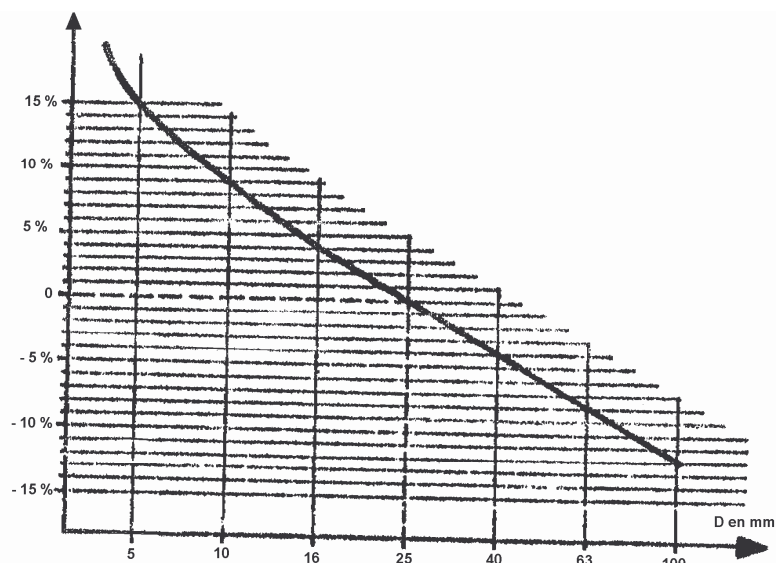


Fig. Variation de la correction à apporter au dosage en eau si la dimension maximale des granulats est différente de 25 mm

b/ Choix des granulats

Tracé de la courbe granulaire de référence

Les graviers doivent être de bonne qualité minéralogique, suffisamment durs et bien propres, mais de préférence alluvionnaire.

Le sable quant à lui a sur le béton, une influence prépondérante selon ses qualités :

Sa propriété à vérifier par l'Equivalent de Sable (E.S)

Son module de finesse M_f à calculer : Σ des refus (%) ramené à l'unité) de tamis de module suivant 23, 26, 29, 32, 35, 38

Sa courbe granulométrique.

En ce qui concerne les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable E.S, on trouve :

ES à vue	ES Piston	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq \text{ES} < 75$	$60 \leq \text{ES} < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq \text{ES} < 85$	$70 \leq \text{ES} < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité (valeur optimale : ES piston = 75, ES à vue = 80).
ES $\geq$ 85	ES $\geq$ 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines

Note n° : 1

Annexe : 2

Série : 01

Fiche n° : 08

Statut : **Projet**

Révision de la fiche : 0

Page : 4/11

ES à vue	ES Piston	Nature et qualité du sable
		argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.
Le C.P.C. (fascicule 65) du Ministère de l'Équipement préconise les valeurs suivantes :		
Qualité du béton		ES à vue minimum
Béton courant.....		70
Béton courant de résistance relativement élevée, béton de qualité.....		75
Béton de qualité à haute résistance, béton exceptionnel.....		80

Une correction par l'ajout d'un sable fin, d'un plastifiant ou d'un entraîneur d'air, si par exemple, le sable en question est trop grossier. (Module de finesse $\geq 3,0$).

Correction éventuelle du module de finesse du sable :

On pourra utiliser la règle d'Abrams : supposons par exemple que l'on dispose d'un sable S_1 de module de finesse trop fort M_{f1} et que l'on désire y ajouter un sable fin S_2 de module de finesse M_{f2} afin d'obtenir un mélange dont le module de finesse serait M_f ; les proportions des deux sables composant devront être les suivantes :

$$\text{Proportions } S_1 = \frac{M_f - M_{f2}}{M_{f1} - M_{f2}}$$

$$\text{Proportions } S_2 = \frac{M_{f1} - M_f}{M_{f1} - M_{f2}}$$

Exemple :

Soit : $M_{f1} = 3,2$ (sable grossier S_1)

$M_{f2} = 2,0$ (sable fin S_2)

$M_f = 2,5$ (sable corrigé)

$$\text{Proportion de sable } S_1 = \frac{2,5 - 2,0}{3,2 - 2,0} = 42\%$$

$$\text{Proportions de sable } S_2 = \frac{3,2 - 2,5}{3,2 - 2,0} = 58\%$$

Graphique d'analyse granulométrique

Après le tamisage des granulats, on trace sur le même graphique les courbes granulométriques des différents granulats. Ensuite on trace la courbe granulaire de référence OAB : le point O étant l'origine, le B (à l'ordonnée 100 %) correspond à la dimension $D_{\max i}$ du plus gros granulat et le point A dit le point de brisure a les coordonnées ainsi définies en abscisse à partir de $D_{\max i}$:

$$\text{Si } D_{\max i} \leq 20 \text{ mm, alors l'abscisse } X_A = \frac{D_{\max i}}{2}$$

Si $D_{\max i} > 20$ mm, X_A est située au milieu du "segment gravier" limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à $D_{\max i}$. et l'ordonnée (Y_A) est donnée par la formule :

$$Y_A = 50 - \sqrt{D_{\max i}} + K$$

avec K (voir tableau ci dessous) un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés. (en particulier la forme du sable).

<i>Note n° : 1</i> <i>Annexe : 2</i> <i>Série : 01</i> <i>Fiche n° : 08</i>	<i>Statut : Projet</i> <i>Révision de la fiche : 0</i>	<i>Page : 5/11</i>
--	--	--------------------

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

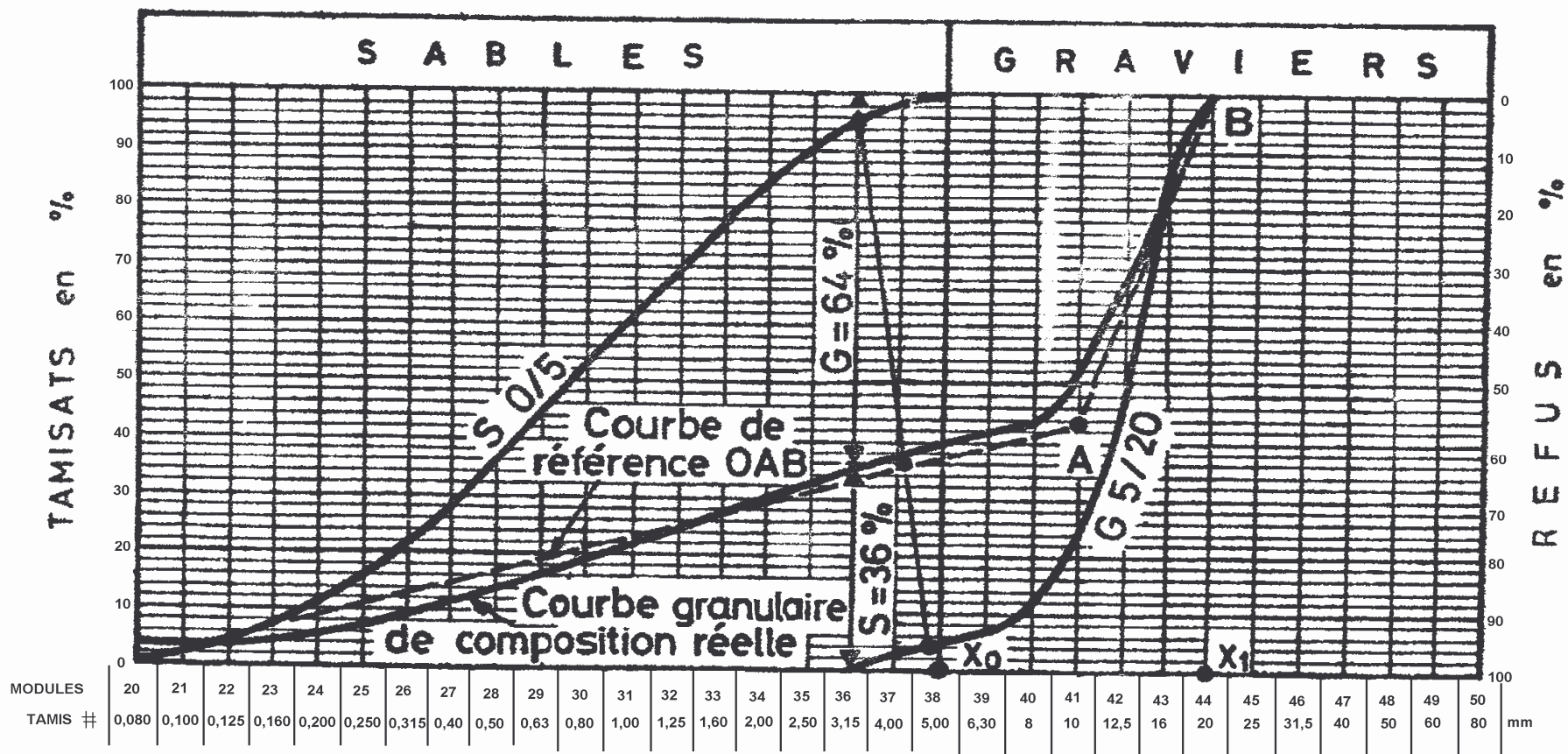
NOTA 1 : Correction supplémentaire K_p :

Si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_p = 6 M_f - 15$ (M_f étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

NOTA 2 : Correction supplémentaire K_p :

Si la qualité du béton est précisée « pompable », il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courant ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_p = + 5$ à 10 environ, selon le degré de plasticité désiré.

Tab. Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats et permettant de calculer Y ordonnée du point de brisure de la courbe de référence :



Dosage des granulats

Coefficient de compacité

Le coefficient de compacité γ est le rapport des volumes absolus des matières solides ($V_m = V_g + V_s + V_c$) au volume total du béton frais en oeuvre soit un mètre cube.

$$\gamma = \frac{V_g + V_s + V_c}{1000} \text{ (en litres), avec :}$$

V_g : Volume absolu du gravier

V_s : Volume absolu du sable

$V_c = \frac{C}{3,1}$; Volume absolu du ciment

Ce coefficient γ est fonction de :

$D_{\max i}$: dimension maximale des granulats

C : dosage en ciment et E dosage en Eau

$\frac{G}{S}$ rapport de composition gravier, sable

Forme des granulats (concassés ou roulés)

Moyen de serrage (vibrations, piquage)

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855
NOTA : Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon, il conviendra d'apporter les corrections suivantes : - sable roulé et gravier concassé 0,01 - sable et gravier concassé 0,03 Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{ KN/m}^3$, on apportera le terme correctif suivant : $\frac{C - 350}{3000}$								

Tab. : Valeur du coefficient de compacité γ

Dosage des granulats

La courbe granulaire de référence OAB étant tracée, on trace alors les lignes de partage des courbes granulaires en joignant le point à 95 % de la courbe granulaire du 1er granulat, au point de 5 % de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite.

Note n° : 1

Annexe : 2

Série : 01

Fiche n° : 08

Statut : **Projet**

Révision de la fiche : 0

Page : 8/11

On lira alors, sur la courbe de référence OAB au point de croisement (intersection) avec la ou les droites de partages de courbes, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : soit g_1 , g_2 etc...

$$\text{A partir de } \gamma = \frac{V_g + V_s + V_c}{1000} \Rightarrow V_g + V_s = V = 1000 \gamma - V_c$$

Ainsi les volumes absolus de chacun des granulats sont :

$$\begin{aligned} V_1 &= g_1 (V_g + V_s) = g_1 \cdot V \\ V_2 &= g_2 \cdot V \\ \text{etc...} \end{aligned}$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont w_1 , w_2 etc... alors les masses de chacun d'eux seront :

$$\begin{aligned} P_1 &= w_1 \cdot V_1 \\ P_2 &= w_2 \cdot V_2 \\ \text{etc..} \end{aligned}$$

Soit P la masse totale des granulats. Ainsi on aura défini la formule de composition pour 1 m³ de béton à savoir:

Dosage en ciment : C (Kg/m³)

Dosage en eau: E (l/m³)

Dosage des granulats : G, S. (kg ou litres pour 1 m³).

ESSAIS D'ETUDE - CORRECTIONS

a/ Confection du béton même

La formule de composition étant déterminée, on procède alors à réaliser divers essais d'étude pour contrôler les résistances et certains critères essentiels afin de corriger éventuellement la formule ainsi proposée.

Pour effectuer ces corrections, on observera les différents cas suivants :

Résistance insuffisante

Si la résistance est insuffisante, il faut soit :

Augmenter le dosage en ciment,

Diminuer le dosage en eau mais pour maintenir une plasticité suffisante il faut faire appel éventuellement à un adjuvant fluidifiant,

Diminuer le dosage en éléments fins du sable au profit des éléments plus gros (majoration du module de finesse) mais dans ce cas, attention à la diminution de l'ouvrabilité et à l'augmentation de la ségrégabilité,

Augmenter le rapport $\frac{G}{S}$ en diminuant un peu la quantité du sable au profit du gravier; il suffit d'abaisser un peu le point A de la courbe de référence.

Des essais d'écrasement des éprouvettes doivent être effectués afin d'adopter la correction satisfaisante à retenir.

Ouvrabilité insuffisante, ségrégabilité

Pour améliorer l'ouvrabilité, il faut soit :

Vérifier que le sable n'a pas un module de finesse trop fort ; dans ce cas, ajouter un sable fin de façon à corriger ce module ou faire appel à un adjuvant plastifiant,

Augmenter le dosage en eau, si le béton a un aspect trop sec, mais attention à la chute de résistance,

Augmenter le dosage des éléments les plus fins au détriment des plus gros, ce qui revient

à diminuer le rapport $\frac{G}{S}$; il suffit de relever un peu le point A, d'où à choisir une valeur de K un peu plus élevée.

Ajustement de la formule au m³

Si la masse totale des granulats est P, si la masse du ciment est C et le dosage en eau est E (en litres/m³ sur matériaux secs), la densité du m³ de béton frais serait théoriquement :

Note n° : 1 Annexe : 2 Série : 01 Fiche n° : 08	Statut : Projet Révision de la fiche : 0	Page : 9/11
--	--	--------------------

$$\Delta_0 = \frac{P + C + E}{1\,000}$$

On peut en pesant une ou plusieurs éprouvettes mesurer la densité réelle (Δ) du béton frais en oeuvre. Ainsi :

Si $\Delta \approx \Delta_0$, la formule étudiée correspond bien au m³,

Si $\Delta < \Delta_0$, la formule étudiée donne un peu plus d'un mètre cube (m³) de béton et le dosage réel en ciment se trouve inférieur à celui théoriquement prévu et vice versa,

La correction à apporter sur la masse totale des granulats est alors :

$$x = 1\,000 (\Delta - \Delta_0) \text{ (en kg)}$$

Si à $\Delta - \Delta_0 < 0$, la correction est à déduire car la formule proposée faisait plus du m³,

Si $\Delta - \Delta_0 > 0$, la correction est à ajouter car la formule proposée faisait alors moins du m³

Sur la masse de chacun des granulats dont les % sont g₁, g₂, g₃ et les masses P₁, P₂, P₃ ; la correction à apporter sera

$$\frac{XP_1}{P} ; \frac{XP_2}{P} ; \frac{XP_3}{P} ; \text{etc...}$$

On gâchera suffisamment pour la confection d'au moins 4 éprouvettes, 6 recommandés.

Dosage des granulats

On utilise des récipients tarés en volume (de préférence utilisation de volumes rencontrés très souvent sur les petits chantiers, tel sceau, brouette ...), étant rare d'avoir sur chantier un dispositif de pesage (raison pour laquelle la composition granulaire de la méthode est exprimée en volumes).

Il conviendra de tarer ces volumes, voir de confectionner des règles d'arasement associées à ces derniers.

Dosage et qualité du ciment

Le dosage en ciment donné par la méthode est toujours indiqué en kg/m³ de béton.

Arrondir ce dosage au multiple de 25 kg supérieur (car le ciment est conditionné en sac de 50 Kg).

La méthode est valable pour les ciments Portland Artificiels ; les abaques ont été tracées pour un ciment CPA ou CPJ dans la classe 35 ($\Leftrightarrow$ dans la nouvelle classification à un CPA-CEM I ou CPJ-CEM II de classe 32,5). Elles restent donc utilisables pour des ciments CPA ou CPJ de classe supérieure (45 ou 55).

Adjuvant de type plastifiant réducteur d'eau :

Les abaques de Dreux préconisent le recours à ce type d'adjuvant pour un dosage en ciment supérieur à 400 Kg/m³. Ceux-ci donnent aussi une indication (fiche technique de l'adjuvant) sur la réduction d'eau procurée par l'emploi de ce type d'adjuvant.

b/ Essai d'affaissement au cône

Se rapporter à la fiche Aide Mémoire 01-11 (Essai d'affaissement au cône d'Abrams).

A titre indicatif :

PLASTICITE	SERRAGE	AFFAISSEMENT (en cm)
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9
Béton mou	Piquage	10 à 13
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14

c/ Essai d'écrasement d'éprouvette

Se rapporter aux fiches Aide Mémoire

01-12 (Essai d'écrasement d'éprouvette cylindrique 16x32),

01-13 (Surfaçage au mortier de soufre de type A).

EXPRESSION DE LA FORMULATION

On utilisera le modèle :

Formulation de béton : Méthode complète de Dreux Gorisse	GC-BA	C
--	-------	---

Note n° : 1

Annexe : 2

Série : 01

Fiche n° : 08

*Statut : **Projet***

*Révision de la fiche : **0***

Page : 11/11