

FORMULATION DES BETONS : METHODE DE DREUX-GORISSE

I Objectif

Déterminer en fonction des critères de maniabilité et de résistance définis par le cahier des charges, la nature et les quantités de matériaux nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G en kg/m³).

II Définition du cahier des charges

Il s'agit de définir, en fonction du type d'ouvrage à réaliser, les paramètres nécessaires à la mise en oeuvre du béton et à la stabilité à court et long terme de l'ouvrage.

Les paramètres principaux devant être définis sont : la maniabilité et la résistance du béton, la nature du ciment et le type de granulats.

Critère de maniabilité :

La maniabilité est caractérisée, entre autre, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams (Aff.). Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (Tab.1).

Tableau 1 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.

Affaissement en cm	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons extrudés Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil Ouvrages d'art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrages courants
≥ 16	Fluide	Fl	Léger piquage	Fondations profondes Dalles et voiles minces

Critère de résistance :

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ'_{28} .

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression f_{c28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$\sigma'_{28} = 1,15 \times f_{c28}$$

Choix du ciment :

Le choix du type de ciment est fonction de la valeur de sa classe vraie σ'_c et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc...). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. Le cimentier garantit une valeur minimale atteinte par au moins 95 % des échantillons (dénomination normalisée spécifiée sur le sac de ciment). La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant est donnée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie σ'_c	45 MPa	55 MPa	> 60 MPa

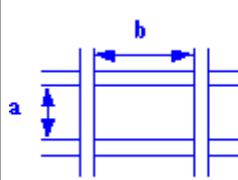
Exemple : la classe vraie du ciment CEM II/B-S 32.5 R est de 45 MPa.

Choix des granulats :

Les granulats à utiliser dans la fabrication du béton doivent permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Il faut en conséquence utiliser des granulats de toutes tailles pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros.

Pour permettre une mise en oeuvre correcte du béton, il est important que la taille des plus gros granulats D_{max} ne s'oppose pas au déplacement des grains entre les armatures métalliques du ferrailage. Le tableau 3 donne une borne supérieure de D_{max} à respecter en fonction de la densité du ferrailage, des dimensions de la pièce à réaliser, et de la valeur de l'enrobage des armatures. D_{max} est le diamètre du plus gros granulats entrant dans la composition du béton. Sa valeur peut être lue sur la feuille d'analyse granulométrique des granulats correspondants.

Tableau 3 : Détermination de D_{max} en fonction du ferrailage et de l'enrobage.

Caractéristiques de la pièce à bétonner		D_{max}
e_h	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$\leq e_h / 1,5$
e_v	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$\leq e_v$
d	<p>Enrobages des armatures :</p> <p>Ambiance très agressive ≥ 5 cm</p> <p>Ambiance moyennement agressive ≥ 3 cm</p> <p>Ambiance peu agressive ≥ 3 cm</p> <p>Ambiance non agressive ≥ 1 cm</p>	$< d$
r	<p>Rayon moyen du ferrailage</p>  $r = \frac{a b}{2 (a + b)}$ <p>Granulats roulés</p> <p>Granulats concassés</p>	$\leq 1,4 r$ $\leq 1,2 r$
h_m	Hauteur ou épaisseur minimale	$\leq h_m / 5$

III Formulation de Dreux- Gorisse

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

Détermination du rapport C/E

Détermination de C et E

Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Détermination de la compacité du béton

Détermination des masses de granulats

Les résultats intermédiaires relatifs à chaque étape de calcul seront consignés sur la fiche de résultats jointe en annexe.

Détermination du rapport C/E

Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5)$$

Avec :

σ'_{28} = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa

σ'_c = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C = Dosage en ciment en kg par m³ de béton

E = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m³ de béton

G' = Coefficient granulaire (Tab.4) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau 4 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max} .

Qualité des granulats	Dimension D_{max} des granulats		
	Fins $D_{max} < 12,5$ mm	Moyens $20 < D_{max} < 31,5$	Gros $D_{max} > 50$ mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe)

Détermination de C

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure 1 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

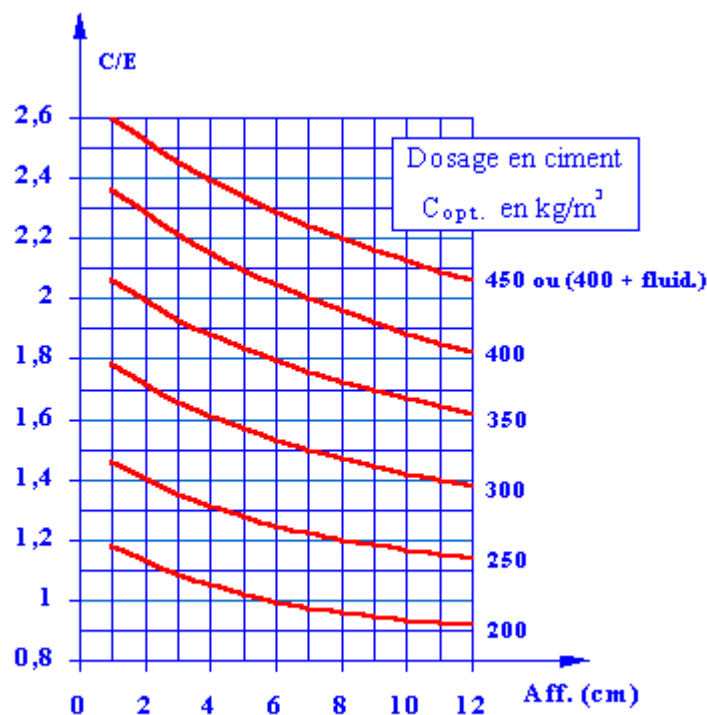


Figure 1 : Abaque permettant la détermination de C_{opt} .

Pour cela il suffit de positionner sur l'abaque (Fig. 2) les valeurs de C/E et de l'affaissement au cône recherchées. Le point ainsi obtenu doit être ramené parallèlement aux courbes de l'abaque pour déterminer la valeur optimale de C_{opt} . Au delà de 400 kg de ciment par m^3 de béton, on préférera à un surdosage en ciment l'usage d'un fluidifiant (Fluid.).

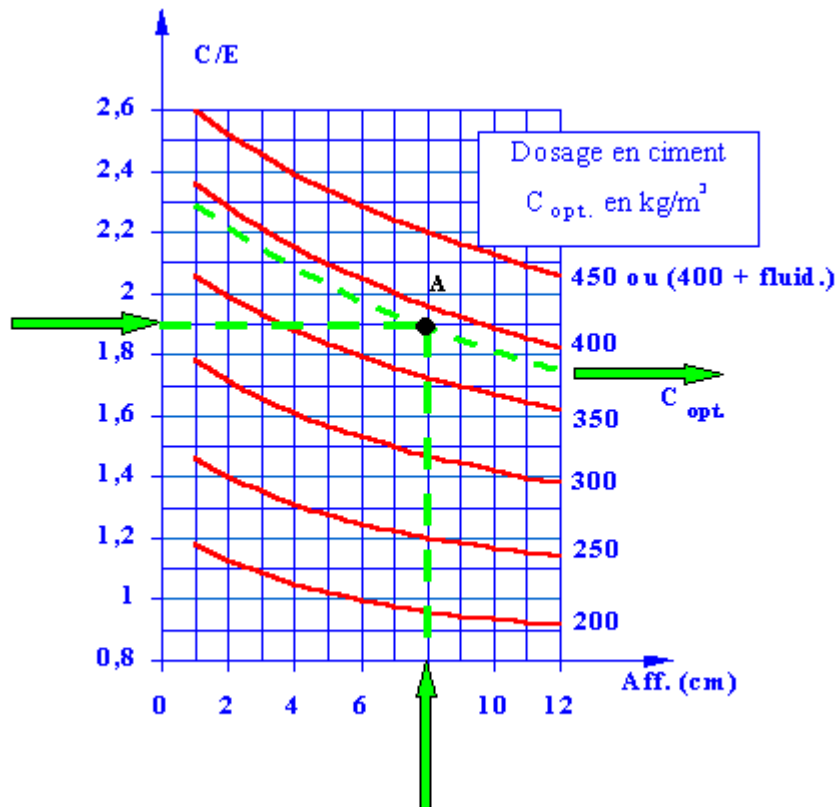


Figure 2 : Exemple de détermination de C_{opt} .

Exemple : Pour des valeurs de C/E de 1,9 et un affaissement au cône de 8 cm, la quantité optimale de ciment nécessaire à la confection d'un mètre cube de béton est de 385 kg.

Le dosage effectif de ciment C à retenir doit être supérieur ou égal à C_{opt} , et aux valeurs minimales C_{min} données par les formules 1 à 3 pour les bétons non normalisés (formule 1 lorsque le béton est en milieu non exposé, formule 2 pour un milieu exposé sans agressivité particulière et formule 3 pour un milieu agressif).

(1) : Milieu non exposé Avec : σ'_{28} en MPa et D_{max} en mm.

$$C_{\min} (kg / m^3) = \frac{250 + 10 \sigma'_{28}}{\sqrt[5]{1,25 D_{max}}}$$

(2) : Milieu exposé sans agressivité particulière

$$C_{\min} (kg / m^3) = \text{Max} \left[\frac{250 + 10 \sigma'_{28}}{\sqrt[5]{1,25 D_{max}}}, \frac{550}{\sqrt[5]{1,25 D_{max}}} \right]$$

(3) : Milieu agressif

$$C_{\min} (kg / m^3) = \text{Max} \left[\frac{250 + 10 \sigma'_{28}}{\sqrt[5]{1,25 D_{max}}}, \frac{700}{\sqrt[5]{1,25 D_{max}}} \right]$$

Détermination de E

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs de C/E et de C.

Corrections sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E

Lorsque la dimension maximale des granulats D_{max} est différente de 20 mm, une correction sur la quantité de pâte est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. Les corrections (Tab.5) sont à apporter sur les quantités d'eau et de ciment (le rapport C/E reste inchangé).

Tableau 5 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de D_{max} .

Dimension maximale des granulats (D_{max} en mm)	5	8	12,5	20	31,5	50	80
Correction sur le dosage de pâte (en %)	+ 15	+ 9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vides est la suivante :

Tracé de la droite brisée de référence

Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

Tracé de la droite de référence de Dreux :

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

En abscisse :

Si $D_{max} \leq 20$ mm $X = D_{max} / 2$

Si $D_{max} > 20$ mm $\text{Module}(X) = (\text{Module}(D_{max})+38) / 2$

En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{1,25 (D_{max})} + K' \quad \text{où } K' = K + K_s + K_p$$

Y est donné en pourcentage de passants cumulés

K est un coefficient donné par le tableau 6, Ks et Kp étant des coefficients correctifs définis par :

Ks (correction supplémentaire fonction de la granularité du sable) :

$K_s = (6 M_{fs} - 15)$ avec M_{fs} le module de finesse du sable.

Kp (correction supplémentaire si le béton est pompable) :

$K_p = +5$ à $+10$ selon le degré de plasticité désiré.

Tableau 6 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment	400 + Fluid	- 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

La droite de Dreux a pour origine le point 0 origine du graphe et pour extrémité le point D_{max} caractéristique des plus gros granulats.

Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure 3 des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 5 % de refus pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces

pourcentages doivent permettre l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux. Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire.

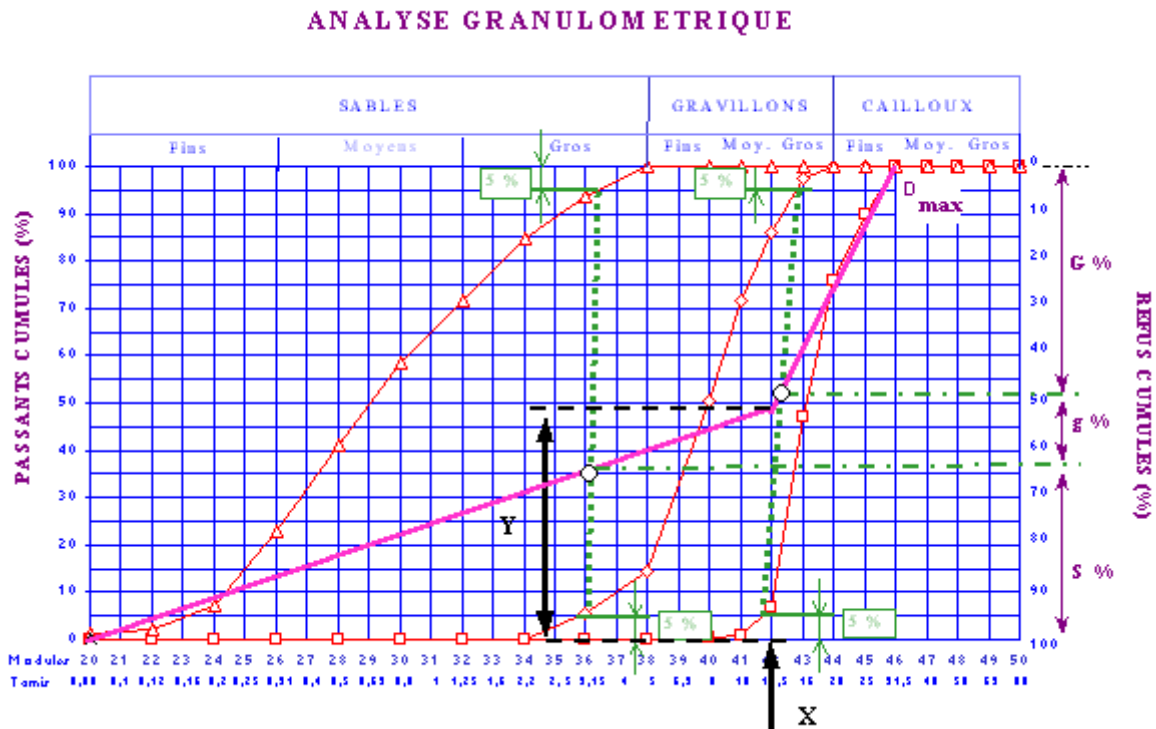


Figure 3 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.

Détermination de la compacité du béton

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au volume absolu en m^3 de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable, de gravette et de gravier). Sa valeur de base c_0 est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (Tab. 7). Des corrections (c_1 , c_2 et c_3) fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées (Tab.7) : $c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3$.

La valeur de la compacité c du béton permet de déterminer le volume total absolu V de granulats intervenant dans la formulation du béton : $V = (c - V_c)$ où V_c est le volume de ciment défini par $V_c = C / \rho_{s(c)}$ où $\rho_{s(c)}$ est la masse volumique absolue du ciment utilisé.

Tableau 7 : Compacité du béton en fonction de D_{max} , de la consistance et du serrage.

Consistance	Serrage	compacité (c_0)						
		$D_{max}= 5$	$D_{max}= 8$	$D_{max}=12,5$	$D_{max} = 20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max} = 50$	$D_{max} = 80$
Molle (TP-FI)	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 (P)	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 (F)	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 ($c_1 = - 0,01$)

Sable et gravier concassé ($c_1 = - 0,03$)

* Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de c : ($c_2 = -0,03$)

* Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$ on apportera le terme correctif suivant : ($c_3 = (C - 350) / 5000$)

Détermination des masses de granulats

Connaissant le volume total absolu des granulats (V) et les pourcentages en volume absolue de sable ($S \%$), de gravillon ($g \%$) et de gravier ($G \%$), il est alors possible de déterminer les volumes de sable (V_s) de gravillon (V_g) et de gravier (V_G) ainsi que leurs masses respectives (S , g et G) :

$$V_s = V * S \% \quad S = V * S \% * \rho_{s(S)}$$

$$V_g = V * g \% \quad g = V * g \% * \rho_{s(g)}$$

$$V_G = V * G \% \quad G = V * G \% * \rho_{s(G)}$$

A défaut de renseignements précis concernant les masses volumiques absolues des matériaux, on peut en première approximation utiliser les valeurs suivantes : $\rho_{s(c)} = 3,1 \text{ t/m}^3$, $\rho_{s(S)} = 2,6 \text{ t/m}^3$, $\rho_{s(g)} = 2,6 \text{ t/m}^3$ et $\rho_{s(G)} = 2,6 \text{ t/m}^3$.

Obtention de la formulation théorique de béton

La formulation théorique de béton recherchée est définie par les quantités d'eau E, de sable S, de gravillon g et de gravier G. La masse totale d'un mètre cube de béton $\Delta_0=(E+C+S+g+G)$ est pour un béton courant comprise entre $2,3 \text{ t/m}^3$ et $2,5 \text{ t/m}^3$. La formulation obtenue reste théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée.

IV Corrections de la formulation théorique de béton

La formulation de béton obtenue précédemment est théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée.

Des corrections seront apportées avant fabrication pour prendre en considération la teneur en eau éventuelle des granulats et après une série de tests effectués en laboratoire pour ajuster les dosages en eau, granulats et ciment.

Corrections à apporter avant fabrication

La composition théorique de béton est établie pour des matériaux secs. Il est impératif avant confection du béton de prendre en considération l'eau contenue dans les granulats. Une mesure de teneur en eau doit être par conséquent effectuée ($w=\text{Masse d'eau/Masse sèche}$). A défaut de toutes mesures précises on peut apprécier l'humidité des granulats grâce aux valeurs données dans le tableau 8.

Tableau 8. Quantité d'eau en litre contenue dans un mètre cube de matériau granulaire en fonction de son degré apparent d'humidité.

Degré apparent d'humidité	Eau d'apport en Litre / m ³ de matériau			
	Sable 0 / 5	Gravillon 5 / 12,5	Gravier 5 / 20	Gravier 16 / 31,5
Apparence sèche	0 à 20	négligeable	négligeable	négligeable
Apparence humide	40 à 60	20 à 40	10 à 30	10 à 20
Apparence très humide	80 à 100	40 à 60	30 à 50	20 à 40
Apparence saturée, égouttée	120 à 140	60 à 80	50 à 70	40 à 60

Exemple : Un sable très humide contient de 80 à 100 litres d'eau par m³ (soit une masse sèche d'environ 1600 kg par m³ de matériau) d'où une teneur en eau w d'environ 5 à 6 %.

Corrections à apporter après essais en laboratoire

Les corrections seront effectuées sur chaque matériau utilisé. La quantité d'eau sera ajustée grâce à la valeur obtenue lors de la mesure de l'affaissement au cône, les quantités de granulats grâce à la mesure de la masse volumique réelle du béton, et la quantité de ciment après essais sur béton durci. Les trois corrections se feront indépendamment les unes des autres.

Correction sur l'eau

Si la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams obtenu (Aff_{obtenu}) diffère de la valeur de l'affaissement au cône souhaitée ($Aff_{souhaité}$) il est nécessaire de modifier la quantité d'eau de la composition de béton. La correction sur la quantité d'eau s'effectue grâce à l'abaque de la figure 4.

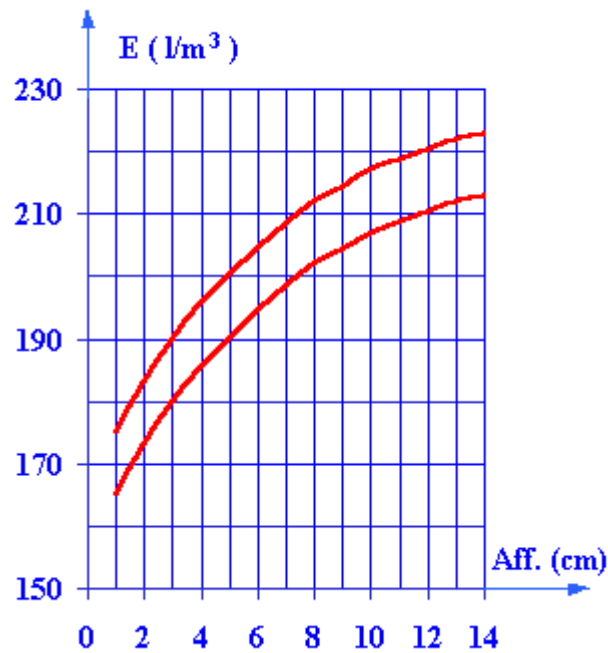


Figure 4 : Variation de la quantité d'eau en fonction de l'affaissement au cône pour un béton courant.

Pour déterminer la valeur de E corrigée (Fig.5) :

Positionner sur le graphe le point caractéristique de la composition effectuée ($E_{\text{utilisée}}$ et affaissement au cône obtenu $\text{Aff.}_{\text{obtenu}}$).

Faire passer par ce point une courbe homothétique à celles du diagramme.

Pour la valeur de l'affaissement souhaité ($\text{Aff.}_{\text{souhaité}}$) en déduire la quantité d'eau à utiliser ($E_{\text{corrigée}}$).

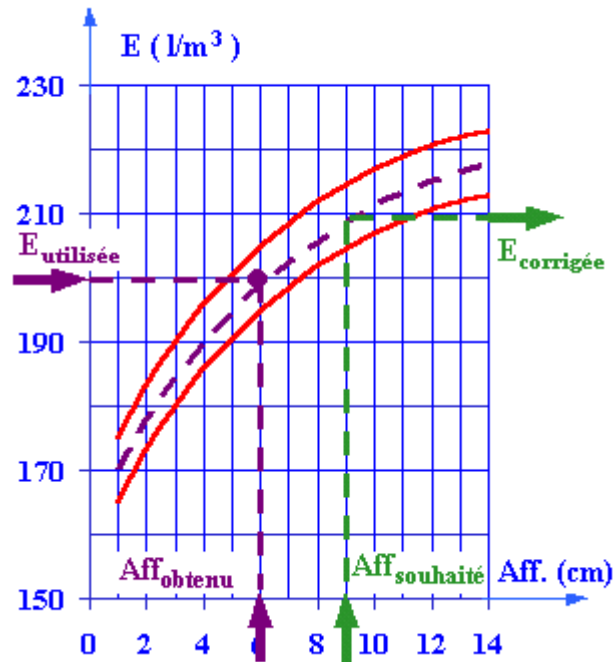


Figure 5 : Exemple de détermination de E corrigée.

Exemple : Pour une valeur initiale de E de 200 l ayant conduit à un affaissement au cône de 6 cm, la quantité d'eau nécessaire à l'obtention d'un affaissement au cône de 9 cm est d'environ 210 litres.

Correction sur la quantité de granulats

L'objectif de cette correction est de vérifier que la quantité de matériau utilisé aboutit bien à la formulation d'un mètre cube de béton et que par conséquent il n'y a ni sur dosage ou sous dosage de ciment. Lorsque la masse volumique apparente réelle du béton (Δ) est différente de la masse volumique apparente théorique (Δ_0) de la formulation, il convient d'effectuer une correction sur les quantités de granulats : $\Delta m = (\Delta - \Delta_0)$. Si Δm est négatif la formulation réalisée aboutit à la confection de plus d'un m³ de béton (des granulats doivent être enlevés). Si Δm est positif la formulation réalisée aboutit à moins d'un m³ de béton (des granulats doivent être rajoutés). Cette correction s'effectue sur tous les granulats au prorata des pourcentages en volume absolu des granulats :

$$S_{\text{corrigé}} = S + \Delta m * S \%$$

$$g_{\text{corrigé}} = g + \Delta m * g \%$$

$$G_{\text{corrigé}} = G + \Delta m * G \%$$

Correction sur la quantité de ciment

Lorsque la résistance obtenue à 28 jours ($\sigma'_{28 \text{ réelle}}$) diffère de la résistance souhaitée (σ'_{28}) il convient d'apporter une correction sur le dosage de ciment ($C_{\text{corrigé}}$). Si $C_{\text{réel}}$ et $E_{\text{réelle}}$ sont les dosages initiaux en ciment et en eau effectivement utilisés pour la confection du béton, il est possible d'écrire en fonction des résultats obtenus ou des résultats souhaités deux équations résultant de la formulation de Bolomey :

$$\text{Résultats obtenus : } \sigma'_{28 \text{ réelle}} = G \sigma'_c (C_{\text{réel}}/E_{\text{réelle}} - 0.5)$$

$$\text{Résultats souhaités : } \sigma'_{28} = G \sigma'_c (C_{\text{corrigé}}/E_{\text{réelle}} - 0.5)$$

En combinant les équations précédentes on obtient :

$$\sigma'_{28} / \sigma'_{28 \text{ réelle}} = (C_{\text{corrigé}}/E_{\text{réelle}} - 0.5) / (C_{\text{réel}}/E_{\text{réelle}} - 0.5)$$

d'où la détermination de $C_{\text{corrigé}}$.

L'augmentation ou la diminution de la quantité de ciment ΔC conduit à une augmentation ou à une diminution de la quantité de fines. Il convient pour conserver la maniabilité du béton de compenser l'augmentation ou la diminution de volume absolu du ciment ΔV_c par une diminution ou une augmentation du volume absolu de sable ΔV_s (considéré comme des éléments fins). D'où une ultime correction sur le dosage en sable $S_{\text{corrigé}} = S + \Delta S$ avec :

$$\Delta C = (C_{\text{corrigé}} - C_{\text{réel}})$$

$$\Delta V_c = (C_{\text{corrigé}} - C_{\text{réel}}) / \rho_{s(c)}$$

$$\Delta V_s = -\Delta V_c = -(C_{\text{corrigé}} - C_{\text{réel}}) / \rho_{s(c)}$$

$$\Delta S = - (C_{\text{corrigé}} - C_{\text{réel}}) \rho_{s(s)} / \rho_{s(c)} = -\Delta C \rho_{s(s)} / \rho_{s(c)}$$

V Bétons à Caractères Normalisés : Norme NFP 18-305

Pour que le béton puisse recevoir l'appellation BCN (Béton à Caractères Normalisés : Norme NFP 18-305) il doit se conformer à des critères de résistance minimale, de valeur maximale de E/C, et de dosage minimum en ciment.

Résistance minimale

La résistance minimale f_{c28} du béton doit être supérieure aux valeurs données dans le tableau 9.

Tableau 9 : Résistance minimale en MPa conseillée pour un BCN.

Classes d'environnement		1	2a	2b ₁	2b ₂	3	4a ₁	4a ₂	4b	5a	5b	5c
Type de béton	Non armé (NA)	(1)	16	20	28	32	32	35	35	32	35	40
	Armé (BA)	22	25	25	30	32	32	35	35	32	35	40
	Précontraint (BP)	30	30	30	30	32	32	35	35	32	35	40

(1) pas de spécification

Dosage E/C

Pour assurer la durabilité des Bétons à Caractères Normalisés la norme (NFP 18-305) impose que le rapport Eau/Ciment soit inférieur aux valeurs maximales données dans le tableau 10.

Tableau 10 : Rapport maximal E/C pour un BCN en fonction de la classe d'environnement et du type de béton.

Classes d'environnement		1	2a	2b ₁	2b ₂	3	4a ₁	4a ₂	4b	5a	5b	5c
Type de béton	Non armé (NA)	(1)	0,7	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5	0,55	0,5	0,45
	Armé (BA)	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5	0,55	0,5	0,45
	Précontraint (BP)	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5	0,55	0,5	0,5	0,55	0,5	0,45

(1) pas de spécification

Dosage minimum en ciment :

La quantité en ciment doit être supérieure aux valeurs données dans le tableau 11.

Tableau 11 : Dosage minimal de ciment C_{min} en kg/m³ de béton pour les BCN (D_{max} =20 mm).

Classes d'environnement		1	2a	2b ₁	2b ₂	3	4a ₁	4a ₂	4b	5a	5b	5c
Type de béton	Non armé (NA)	150	200	240	300	330	330	350	350	330	350	380
	Armé (BA)	260	280	280	310	330	330	350	350	330	350	385
	Précontraint (BP)	300	300	300	315	330	330	350	350	330	350	385

Si $D_{max} \neq 20$ mm, le dosage minimal de ciment C_{min} donné dans le tableau ci dessus doit être modifié comme suit :

$D_{max} < 12,5$ ajouter 10 % ; $D_{max} = 16$ ajouter 5 %
 $D_{max} = 25$ retrancher 5 % ; $D_{max} > 31,5$ retrancher 10 %.

VI ANNEXE

