



ASSOCIATION CANADIENNE DES MÉTIERS DE LA TRUELLE

LOCAL 100

8290, boul. Métropolitain Est

Anjou (Québec) H1K 1A2

Téléphone : 514 326-3691 / 1 888 326-3691

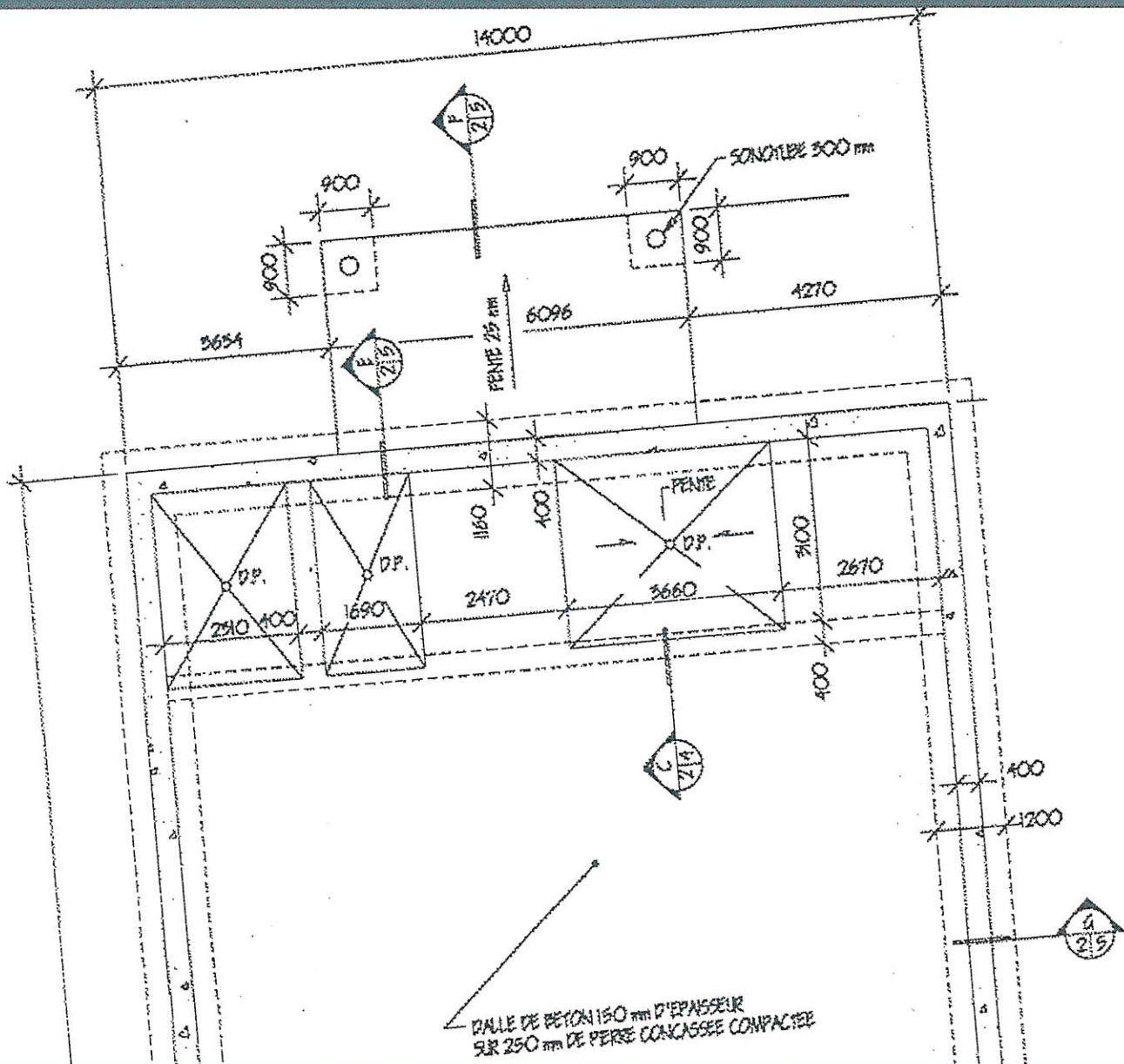
acmt@local100.ca

Examen CCQ Cimentier-Applicateur |



RÉVISION DES NOTIONS THÉORIQUES

Fascicule 1 – Notions théoriques et techniques de base



Commission
de la construction
du Québec



FONDS DE FORMATION
DE L'INDUSTRIE
DE LA CONSTRUCTION



CENTRE D'ÉLABORATION
DES MOYENS D'ENSEIGNEMENT
DU QUÉBEC

FASCICULE

1

CIMENTIER-APPLICATEUR

**Notions théoriques
et techniques de base**

Responsable à la CCQ : **Équipe de la formation
professionnelle**

Expert consulté : Jean-Guy Lévesque

Responsable au CEMEQ : Stéphane Dupuis

Élaboration : Brigitte Fortin

Révision : Sandra Smith, Sylvie Dubé,
Marie-Hélène de la Chevrotière
Amélie Bibeau

Graphisme : Éditech

Le CEMEQ remercie les entreprises et les organismes qui l'ont gracieusement autorisé à utiliser, à des fins pédagogiques, les illustrations et les textes tirés de leur documentation. Il tient aussi à remercier le sous-comité professionnel du métier de cimentier-applicateur.

Cimentier-applicateur

Fascicule 1 – Notions théoriques et techniques de base, 58 p.

Dans le présent document, la forme masculine désigne tout aussi bien les femmes que les hommes.

© Tous droits réservés, mars 2004

Les droits de reproduction, d'adaptation ou de traduction de ce guide sont la propriété exclusive de la CCQ, y compris la reproduction par procédé mécanique ou électronique. En conséquence, les contenus ne peuvent être utilisés sans l'autorisation écrite de la CCQ.

ISBN 2-89446-859-8

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2004

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada, 2004

DERNIÈRE ÉDITION : MAI 2007

AVANT-PROPOS

Cette activité de perfectionnement vise à permettre aux apprentis cimentiers-applicateurs d'assimiler de façon structurée les notions acquises sur le chantier. De plus, elle leur donne l'occasion de dresser le bilan de leurs connaissances et, s'il y a lieu, de planifier leur inscription à une activité de perfectionnement relative à une compétence donnée afin de compléter les apprentissages réalisés sur le chantier.

Le présent document est conçu pour être utilisé lors de séances de formation portant sur la révision des notions théoriques liées au métier de cimentier-applicateur. Sa conception permet d'assimiler la terminologie appropriée tout autant que les notions théoriques, ainsi que d'effectuer une synthèse des apprentissages réalisés dans l'exercice du métier.

Néanmoins, cet ouvrage ne traite pas de façon exhaustive des connaissances requises pour exercer le métier de cimentier-applicateur. Lors de son élaboration, des choix relatifs au contenu ont dû être faits en raison de la nature et de la durée de la formation. Des lectures supplémentaires sont donc nécessaires pour compléter les notions théoriques abordées dans ce document.

SOMMAIRE

MATHÉMATIQUES ET GÉOMÉTRIE.	1
Mathématiques de base	1
Géométrie	6
Mathématiques appliquées.	8
Systèmes métrique et impérial.	11
Exercice 1	12
LECTURE DE PLANS	13
Lignes et symboles des différentes vues.	13
Cartouche et échelle	16
Exercice 2	16
FABRICATION DU BÉTON	18
Composants du béton de ciment	18
Types de béton	25
Dosage.	28
Malaxage du béton	35
Méthodes de transport et de manutention	37
Exercice 3	40
ANNEXE A – SOLUTIONNAIRE	A-1

NOTIONS THÉORIQUES ET TECHNIQUES DE BASE

Malgré son apparence banale, le béton est un matériau complexe dont la fabrication constitue un domaine en plein développement. Il importe que le cimentier-applicateur ait des connaissances de base dans ce domaine qui est étroitement lié au secteur de la construction.

MATHÉMATIQUES ET GÉOMÉTRIE

La maîtrise des principales notions de mathématiques et de géométrie permet au cimentier-applicateur de faire face à la plupart des situations qui peuvent se présenter dans l'exercice quotidien de son métier.

MATHÉMATIQUES DE BASE

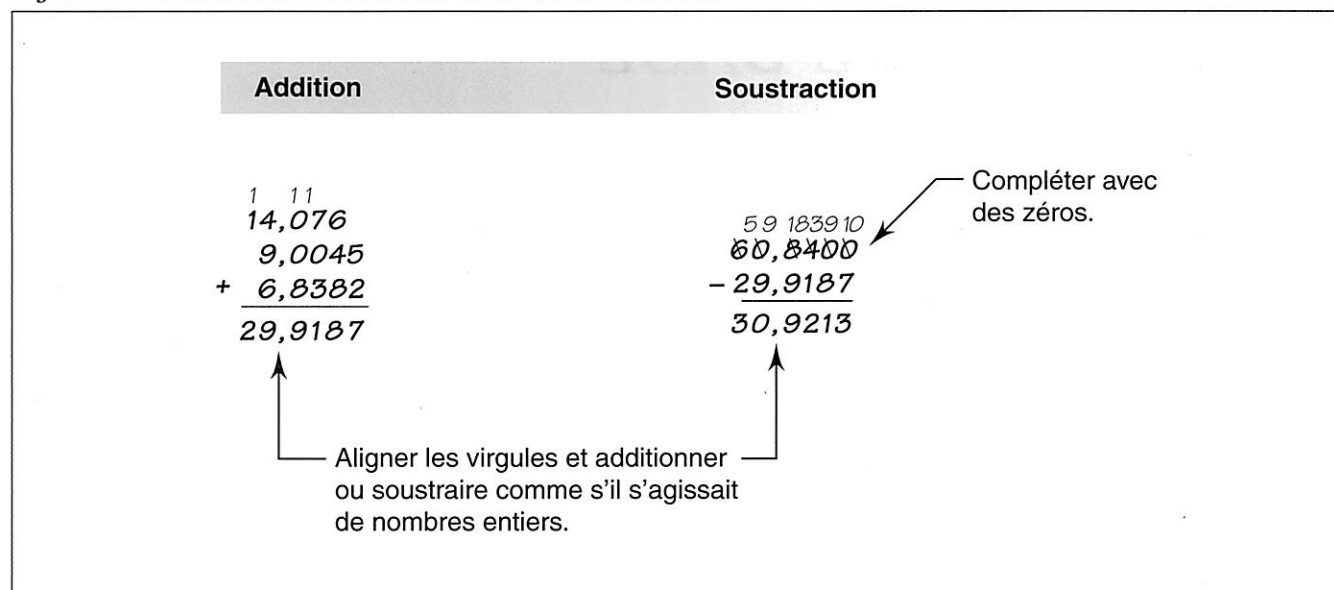
Opérations de base avec nombres fractionnaires

Contrairement à un nombre entier, un nombre fractionnaire n'est pas complet : il comporte une décimale ou une fraction. On peut additionner, soustraire, multiplier et diviser des nombres fractionnaires en employant des méthodes différentes selon la forme qu'ils présentent.

Nombres décimaux

L'addition et la soustraction de nombres décimaux se font comme s'il s'agissait de nombres entiers. Ces opérations nécessitent cependant l'alignement des virgules et l'ajout de zéros pour compléter les décimales (figure 1).

Figure 1 Addition et soustraction de nombres décimaux



La multiplication de nombres décimaux se fait comme pour les nombres entiers, à la différence qu'il faut tenir compte de la virgule que l'on place en comptant autant de chiffres après celle-ci qu'il y en a dans les nombres de départ (figure 2).

La division de nombres décimaux se traite comme pour les nombres entiers. Lorsque le diviseur est entier, on rapporte la virgule dans le quotient avant d'abaisser une décimale. Dans le cas où le diviseur est un nombre décimal, on le rend entier en multipliant le diviseur et le dividende par un multiple de 10 selon le cas (figure 3).

Figure 2 Multiplication de nombres décimaux

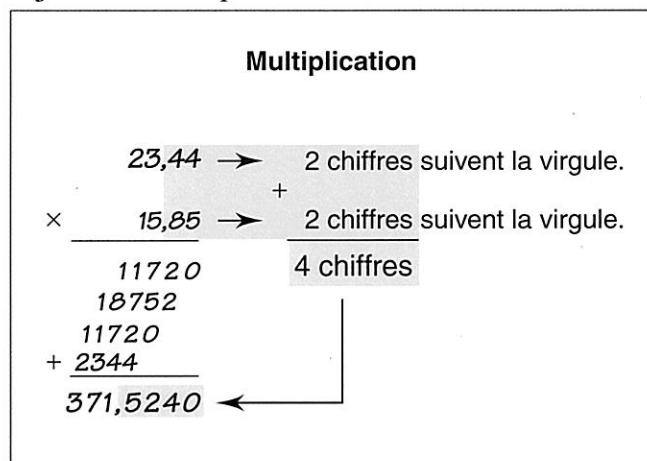
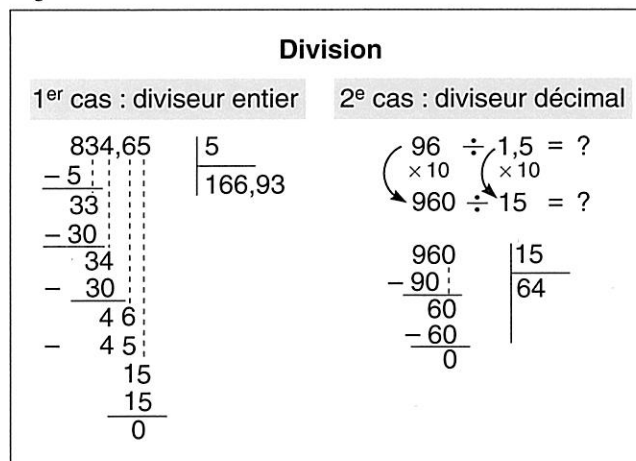


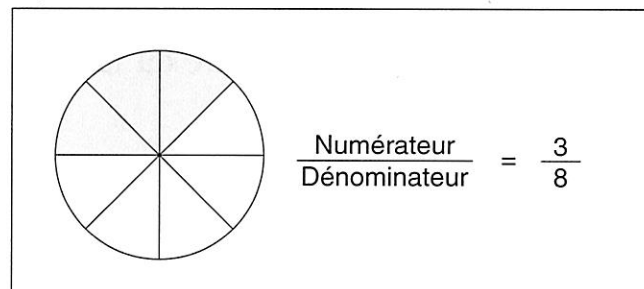
Figure 3 Division de nombres décimaux



Fractions

Une fraction est une partie d'un tout. Le numérateur, qui est situé au-dessus de la barre de fraction, indique le nombre de parties égales considérées dans la fraction. Le dénominateur, qui est situé sous la barre de fraction, indique en combien de parties égales l'unité est divisée (figure 4).

Figure 4 Numérateur et dénominateur



L'addition et la soustraction de fractions se font de la façon suivante. On convertit d'abord les nombres fractionnaires en fractions. On trouve ensuite un dénominateur commun pour tous les termes additionnés ou soustraits. Puis, on additionne ou soustrait les numérateurs. Enfin, on simplifie la fraction à sa plus simple expression (figure 5). Notez que le dénominateur n'est jamais additionné ou soustrait.

Figure 5 Addition de nombres fractionnaires

Addition de nombres fractionnaires :

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 3\frac{1}{2} + \frac{5}{8} = x$$

1. Convertir en fractions.

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{7}{2} + \frac{5}{8} = x$$

Pour que $3\frac{1}{2}$ devienne $\frac{7}{2}$, il faut multiplier le dénominateur (2) par le nombre entier (3) et y additionner le numérateur (1) :

$$\begin{array}{r} + \\ 3\frac{1}{2} \\ \times \end{array} = \frac{(2 \times 3) + 1}{2} = \frac{6 + 1}{2} = \frac{7}{2}$$

2. Trouver un dénominateur commun.

$$\frac{4}{8} + \frac{4}{8} + \frac{28}{8} + \frac{5}{8} = x$$

3. Additionner les numérateurs et simplifier.

$$\frac{4}{8} + \frac{4}{8} + \frac{28}{8} + \frac{5}{8} = \frac{41}{8} = 5\frac{1}{8}$$

Pour effectuer la multiplication de fractions, on transforme d'abord les nombres fractionnaires en fractions. Puis, on multiplie les numérateurs d'une part et les dénominateurs d'autre part. Enfin, on réduit le résultat obtenu à sa plus simple expression. La division de fractions est un peu particulière du fait qu'il faut inverser le diviseur avant de multiplier les termes (figure 6).

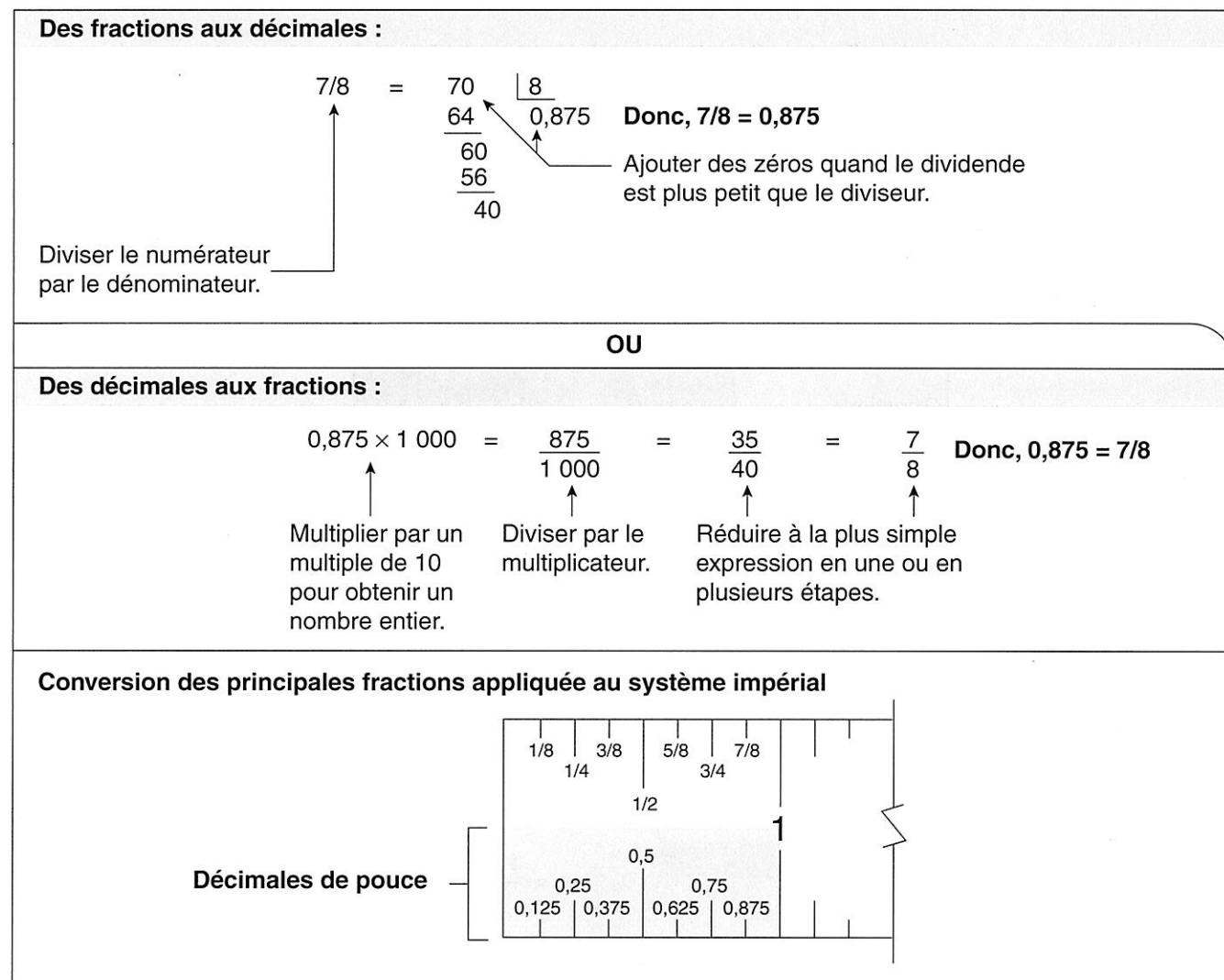
Figure 6 Multiplication et division de nombres fractionnaires

Multiplication :	Division :
$2\frac{1}{2} \times \frac{3}{4} = x$	$\frac{1}{2} \div \frac{3}{4} = x$
1. Convertir les nombres fractionnaires en fractions.	1. Inverser le diviseur et multiplier.
$\frac{5}{2} \times \frac{3}{4} = x$	$\frac{1}{2} \times \frac{4}{3} = \frac{4}{6}$
2. Multiplier les numérateurs et les dénominateurs.	2. Simplifier.
$\frac{5}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{15}{8}$	$\frac{4}{6} = \frac{2}{3}$
3. Simplifier la fraction.	
$1\frac{7}{8}$	

Conversion

Comme les valeurs dont on a besoin pour résoudre un problème ne se trouvent pas toujours toutes sous la même forme (nombres décimaux ou nombres fractionnaires), il arrive souvent que l'on doive effectuer des conversions (figure 7).

Figure 7 La conversion, ou comment uniformiser les données



Règle de trois

Certains problèmes exigent de trouver des données manquantes. Pour ce faire, il faut souvent avoir recours à la règle de trois. On utilise la règle de trois simple lorsqu'on possède trois données connues et une inconnue (figure 8).

Figure 8 Règle de trois simple

Le maître d'œuvre d'un chantier a évalué la quantité de béton requise à 125 m³. Selon lui, cela coûtera au total 17 500 \$. Après coup, il constate qu'il faudra 10 m³ supplémentaires.

Combien de plus cela coûtera-t-il?

	Nombre de mètres cubes	Coût
Hypothèse	125	17 500
Question	10	x

Équation mathématique :

$$\frac{125 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3} = \frac{17\,500 \$}{x}$$

Règle des produits croisés :

$$\frac{125 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3} \swarrow \searrow \frac{17\,500 \$}{x}$$

ou

$$17\,500 \$ \times 10 \text{ m}^3 = 125 \text{ m}^3 \times x$$

Isoler la variable x :

$$x = \frac{17\,500 \$ \times 10 \text{ m}^3}{125 \text{ m}^3}$$

Il en coûtera donc 1 400 \$ supplémentaires.

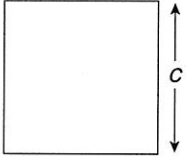
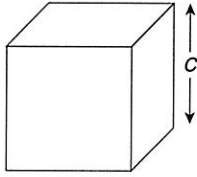
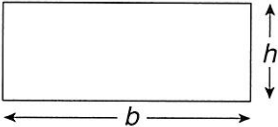
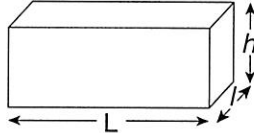
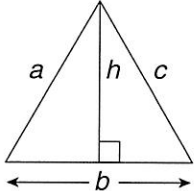
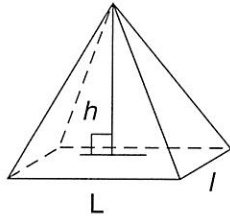
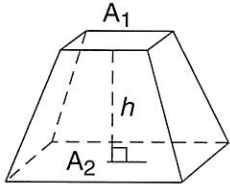
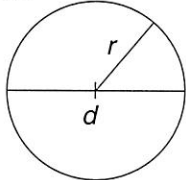
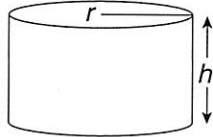
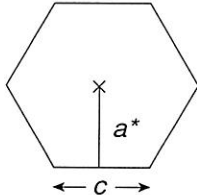
GÉOMÉTRIE

On peut schématiser la majorité des problèmes techniques que doit résoudre le cimentier-applicateur à l'aide des lois de la représentation géométrique.

Formules de périmètre, d'aire et de volume

Les notions de géométrie les plus utilisées en bétonnage se rapportent à l'aire et au volume des figures géométriques (figure 9).

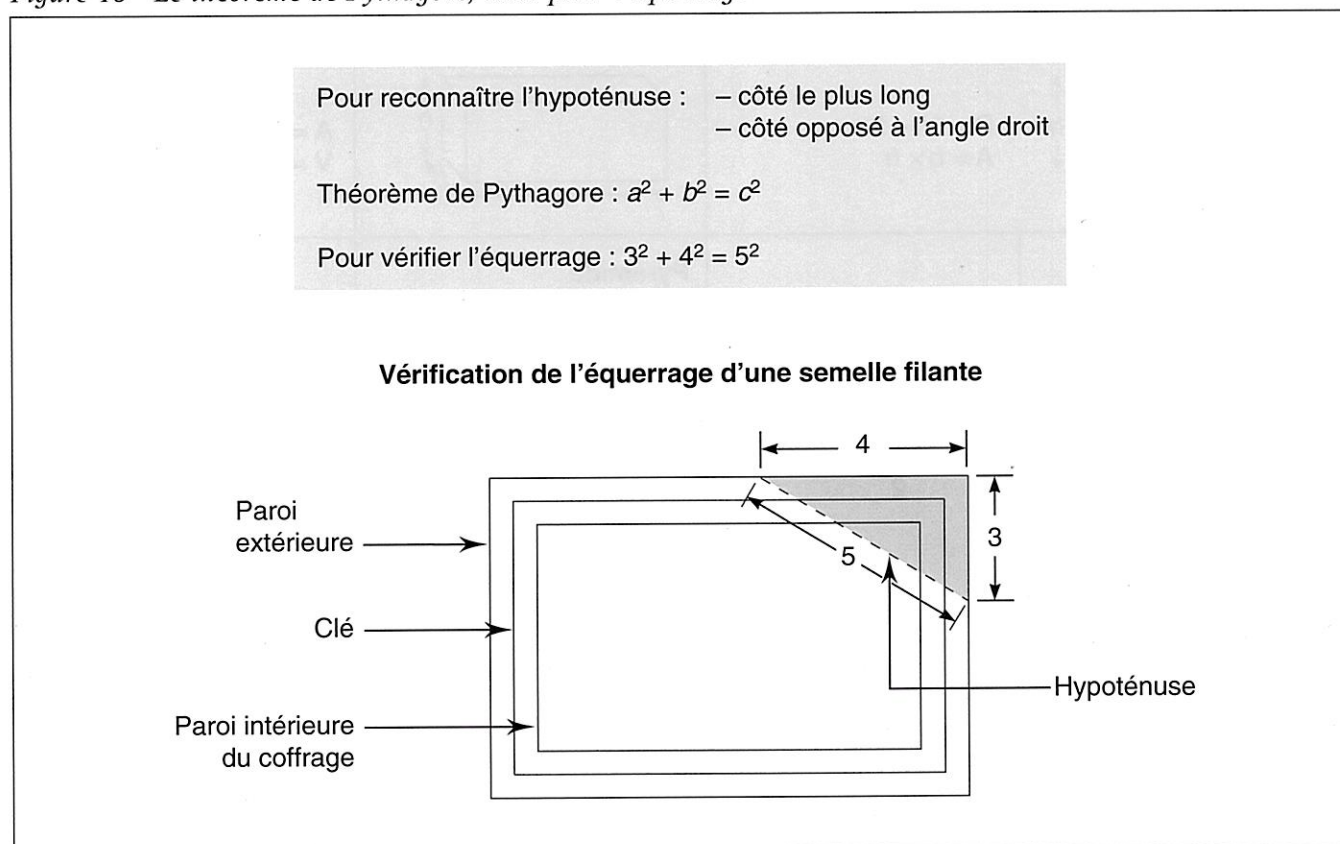
Figure 9 Périmètre, circonférence, aire et volume des figures géométriques

Surfaces planes		Solides	
Carré  $P = 4c$ $A = c^2$		Cube  $A = 6c^2$ $V = c^3$	
Rectangle  $P = 2h + 2b$ $A = b \times h$		Parallélépipède rectangle  $A = 2(Ll + lh + Lh)$ $V = L \times l \times h$	
Triangle  $P = a + b + c$ $A = \frac{b \times h}{2}$		Pyramide  $Aire\ latérale = 4 \times \frac{bh}{2}$ $V = \frac{Lhl}{3}$	
		Tronc de pyramide  $V = \frac{h(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})}{3}$	
Cercle  $C = 2\pi r$ ou πd $A = \pi r^2$ ou $\frac{\pi d^2}{4}$		Cylindre  $A = 2\pi r(h + r)$ $V = \pi r^2 h$	
Polygone régulier  $P = n \times c$ $A = \frac{n \times c \times a^*}{2}$ $a^* = \text{Apothème}$		Note : P : Périmètre A : Aire V : Volume C : Circonférence b : Base c : Côté d : Diamètre h : Hauteur l : Largeur L : Longueur n : Nombre de côtés r : Rayon π : Pi (3,1416)	

Théorème de Pythagore

Tout triangle rectangle possède un angle droit auquel est opposé le côté le plus long : l'hypoténuse. Le théorème de Pythagore stipule que le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des côtés de l'angle droit, soit $a^2 + b^2 = c^2$. Dans le cadre de son travail, le cimentier-applicateur utilise surtout le théorème de Pythagore pour vérifier l'équerrage de structures à l'aide de la règle du 3-4-5 (figure 10).

Figure 10 Le théorème de Pythagore, utile pour l'équerrage



MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Ces principes mathématiques de base sont appliqués afin de calculer le volume de béton nécessaire pour compléter un travail.

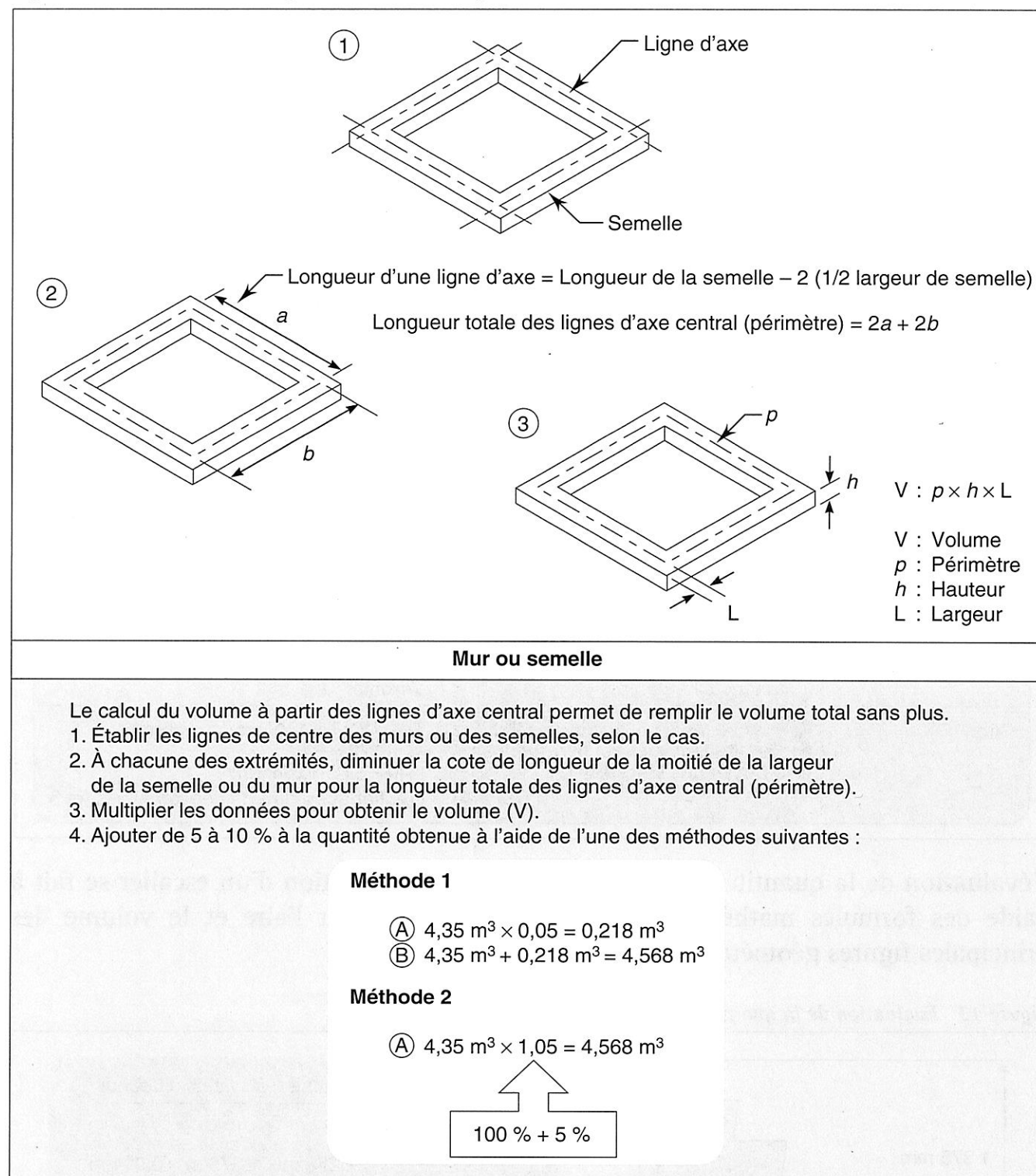
Calcul du volume de béton requis

Pour déterminer la quantité de béton requise, il faut calculer le volume de l'espace à remplir en mètres cubes (m^3) (figure 11).



Lors de l'évaluation de la quantité de béton requise, il faut toujours prévoir de 5 à 10 % de béton supplémentaire pour compenser les pertes éventuelles.

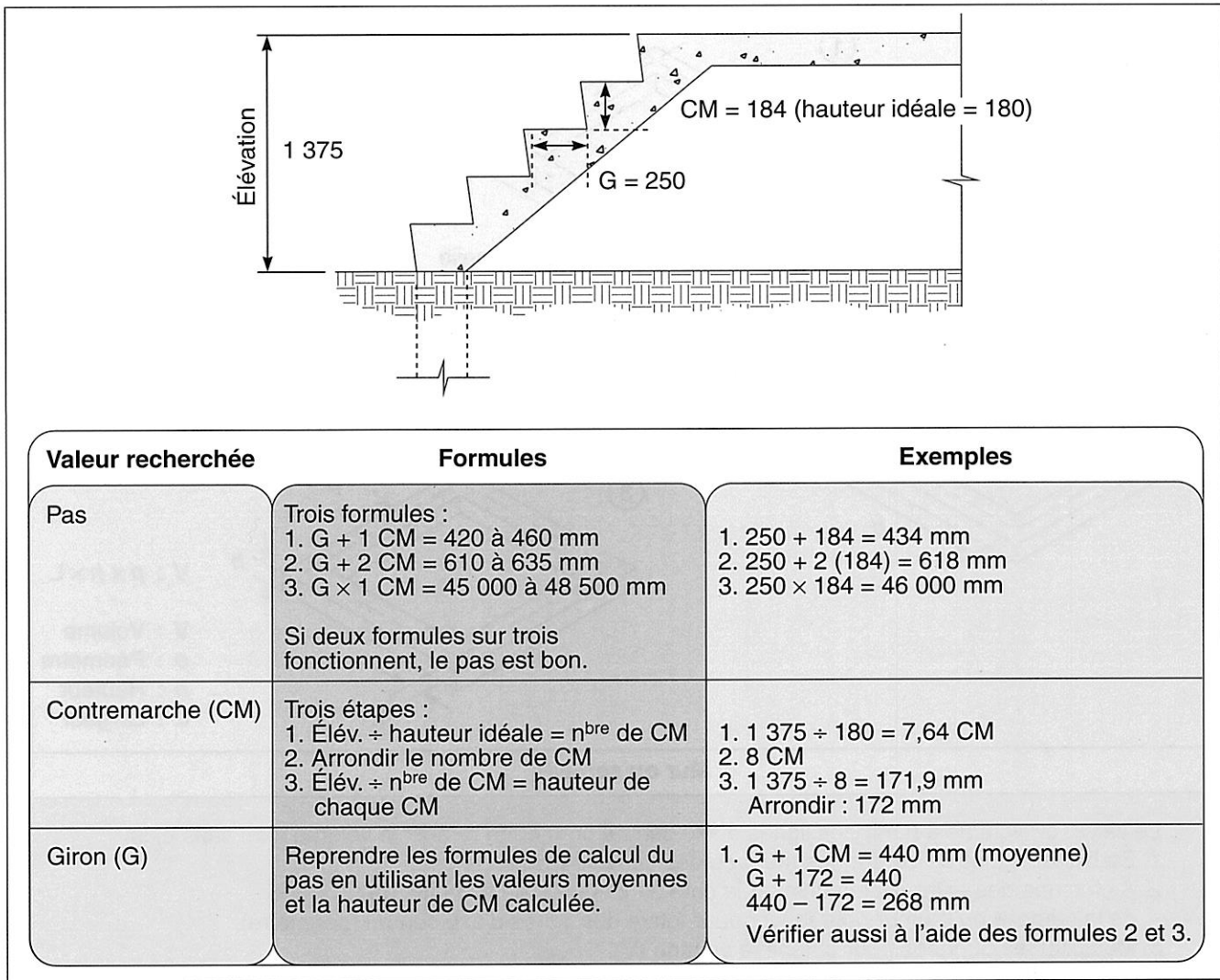
Figure 11 Évaluation de la quantité de béton requise



Calcul du pas et du volume

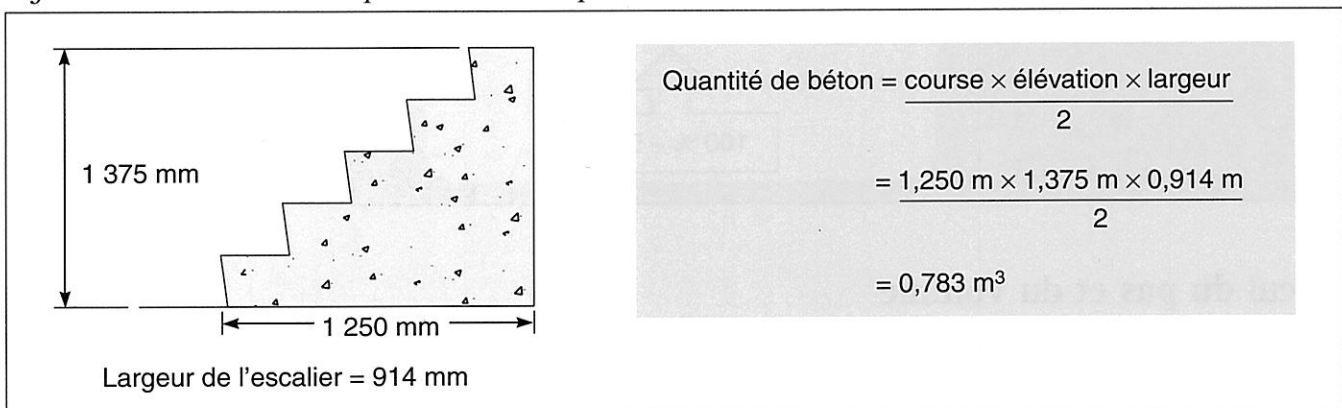
Lorsqu'on bâtit un escalier, il faut s'assurer que les marches soient confortables. Pour ce faire, il faut calculer les dimensions du pas, des contremarches et du giron (figure 12).

Figure 12 Un pas sur mesure



L'évaluation de la quantité de béton nécessaire à la réalisation d'un escalier se fait à l'aide des formules mathématiques utilisées pour calculer l'aire et le volume des principales figures géométriques (figure 13).

Figure 13 Évaluation de la quantité de béton pour un escalier





Les marches d'un escalier doivent toujours avoir les mêmes dimensions. Autrement dit, il ne doit pas y avoir de « petites marches »!

SYSTÈMES MÉTRIQUE ET IMPÉRIAL

Au Québec, il est important de savoir convertir les unités de mesure d'un système à l'autre : du système impérial au système métrique (SI), et vice versa (figure 14).

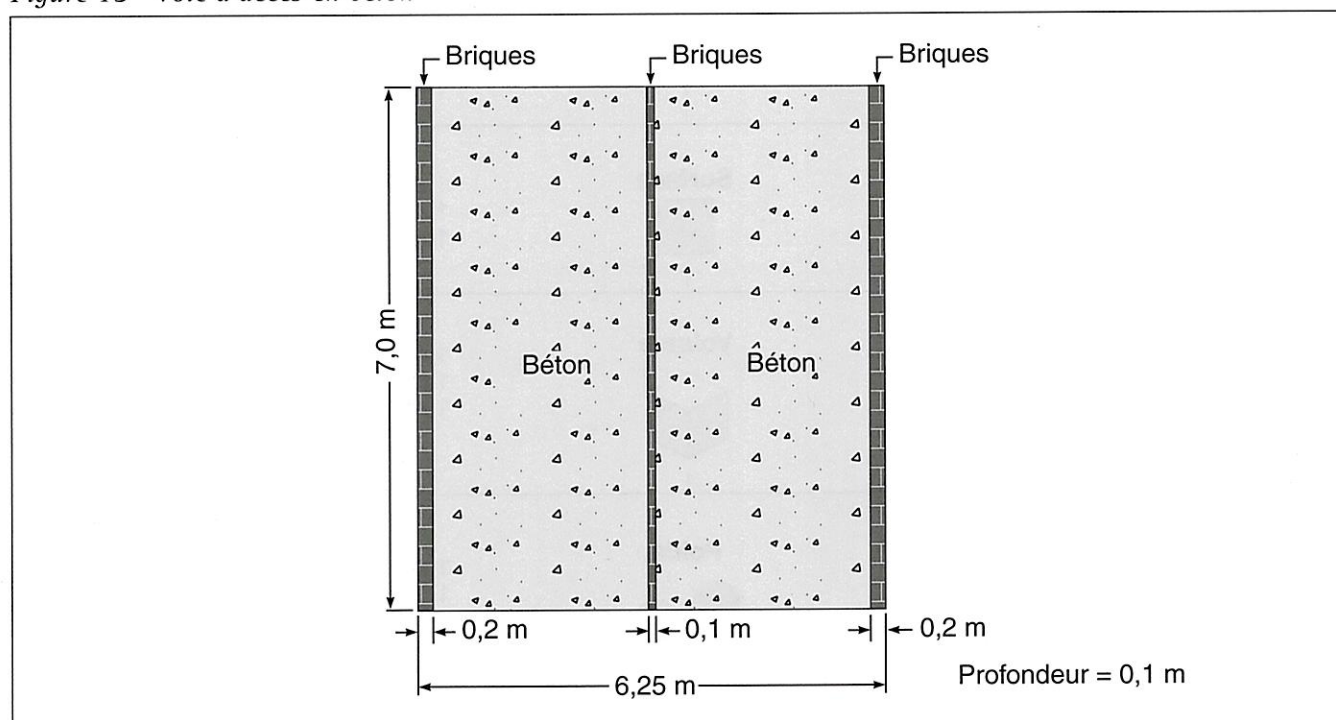
Figure 14 Conversion des mesures

Système métrique (SI) 1 millimètre (mm) = 0,001 mètre (m) 1 centimètre (cm) = 0,01 mètre (m) 1 décimètre (dm) = 0,1 mètre (m) 1 000 millimètres (mm) = 1 mètre (m) 100 centimètres (cm) = 1 mètre (m) 10 décimètres (dm) = 1 mètre (m)	
Système impérial 1 pi = 12 po 1 vg = 36 po 1 vg = 3 pi	
Impérial → SI 1 po = 25,4 mm 1 po = 2,54 cm 1 pi = 0,3048 m 1 vg = 0,9144 m	SI → Impérial 1 mm = 0,03937 po 1 cm = 0,3937 po 1 m = 3,2808 pi 1 m = 1,0936 vg
Longueur 	
1 po ² = 6,452 cm ² 1 pi ² = 0,093 m ² 1 vg ² = 0,836 m ²	Surface 1 cm ² = 0,155 po ² 1 m ² = 10,764 pi ² 1 m ² = 1,196 vg ²
1 po ³ = 16,387 cm ³ 1 vg ³ = 0,7646 m ³	Volume 1 cm ³ = 0,061 po ³ 1 m ³ = 35,313 pi ³ 1 m ³ = 1,308 vg ³
1 lb = 0,4536 kg 1 t = 907,2 kg (2 000 lb)	Poids 1 kg = 2,2046 lb 1 t = 2 204,6 lb

Exercice 1

1. Effectuez les additions et les soustractions suivantes. S'il y a lieu, réduisez les résultats à leur plus simple expression et arrondissez au centième près.
 - a) $4 \frac{5}{6} + 3 \frac{2}{3} =$ _____
 - b) $11/16 - 13/32 =$ _____
 - c) $43,7890 + 12 \frac{3}{5} =$ _____
 - d) $326,9 - 57,345 =$ _____
2. Effectuez les multiplications et les divisions suivantes. S'il y a lieu, réduisez les résultats à leur plus simple expression et arrondissez au centième près.
 - a) $12/5 \times 6/11 =$ _____
 - b) $781 \div 2,3 =$ _____
 - c) $15,32 \times 8,3 =$ _____
 - d) $27 \frac{3}{4} \div 5/2 =$ _____
3. Un client désire couler une voie d'accès en béton bordée de briques (figure 15). Si le béton coûte 142,25 \$/m³, quel sera le coût total du béton requis pour couvrir la voie d'accès? N'oubliez pas d'ajouter 10 % au volume du béton pour les pertes!

Figure 15 Voie d'accès en béton

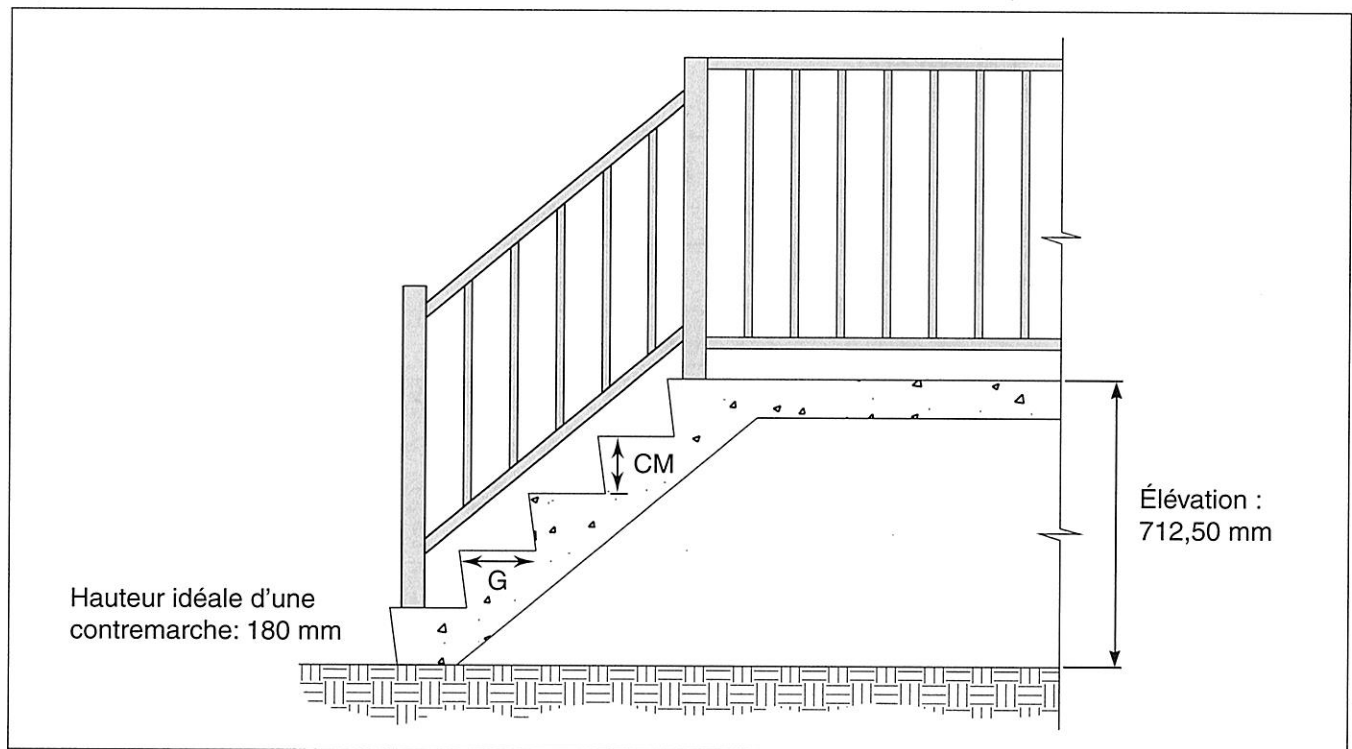


- a) 572,56 \$ ☐
- b) 531,66 \$ ☐
- c) 286,28 \$ ☐
- d) 629,81 \$ ☐

4. En vous reportant à l'escalier représenté à la figure 16, déterminez :

- a) la hauteur des contremarches en mesures métriques et impériales : _____
- b) la largeur du giron en mesures métriques et impériales : _____

Figure 16 Escalier de béton



LECTURE DE PLANS

Le principe de la projection orthogonale fait en sorte que l'on voit le bâtiment, ou ses parties, en deux dimensions seulement. Pour voir le bâtiment en entier, il faut donc plusieurs vues. L'avantage de la projection orthogonale est que toutes les parties apparaissent en vraie grandeur, mais à échelle réduite.

LIGNES ET SYMBOLES DES DIFFÉRENTES VUES

Les lignes utilisées pour tracer un plan sont soumises à des conventions, c'est-à-dire que chacune d'elles se rapporte à un type de détail particulier. De plus, on utilise

plusieurs symboles sur les plans d'architecture du fait qu'ils sont pratiques : les symboles en disent beaucoup, tout en prenant peu d'espace (figures 17 et 18).

Figure 17 Les lignes et les cotes

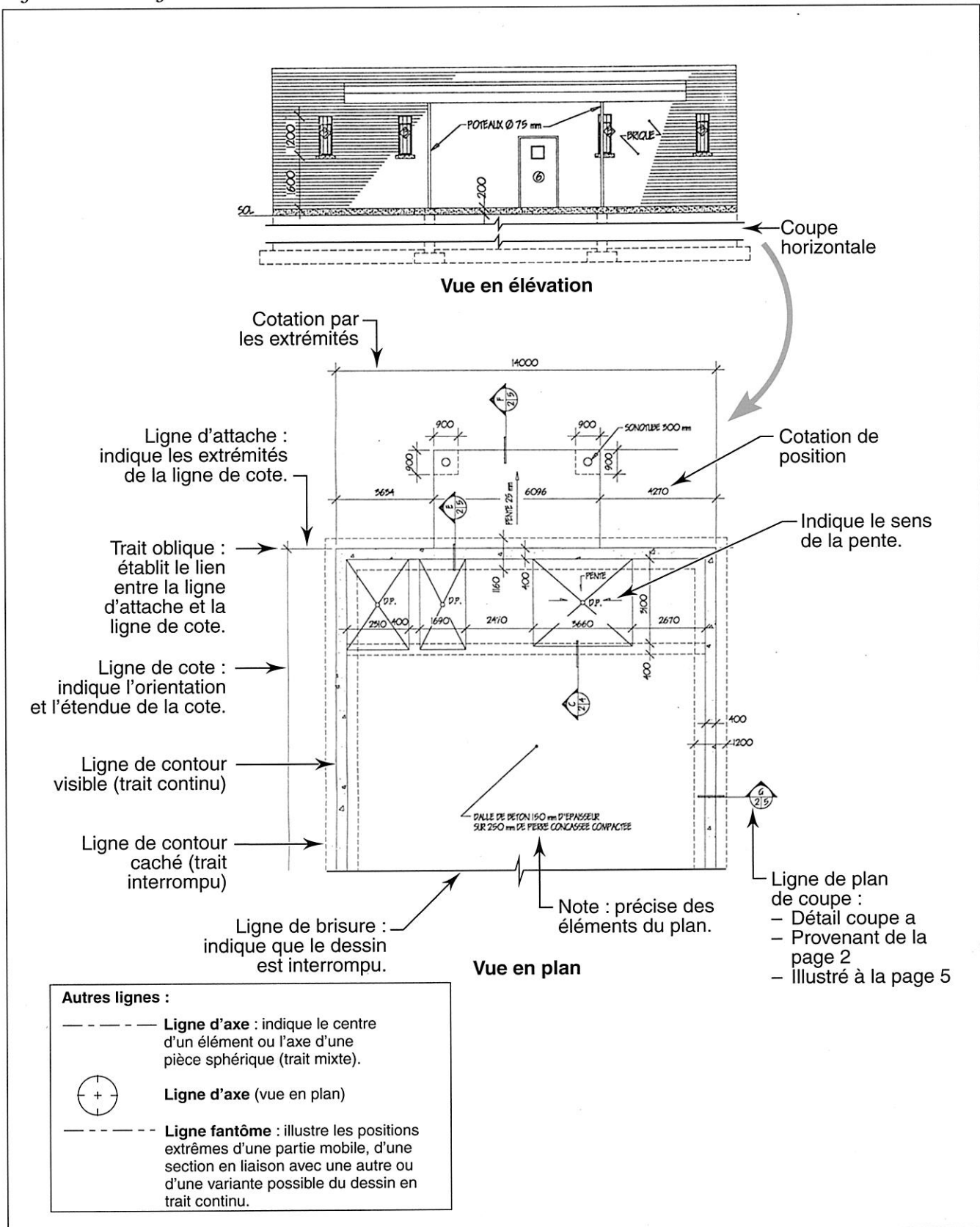
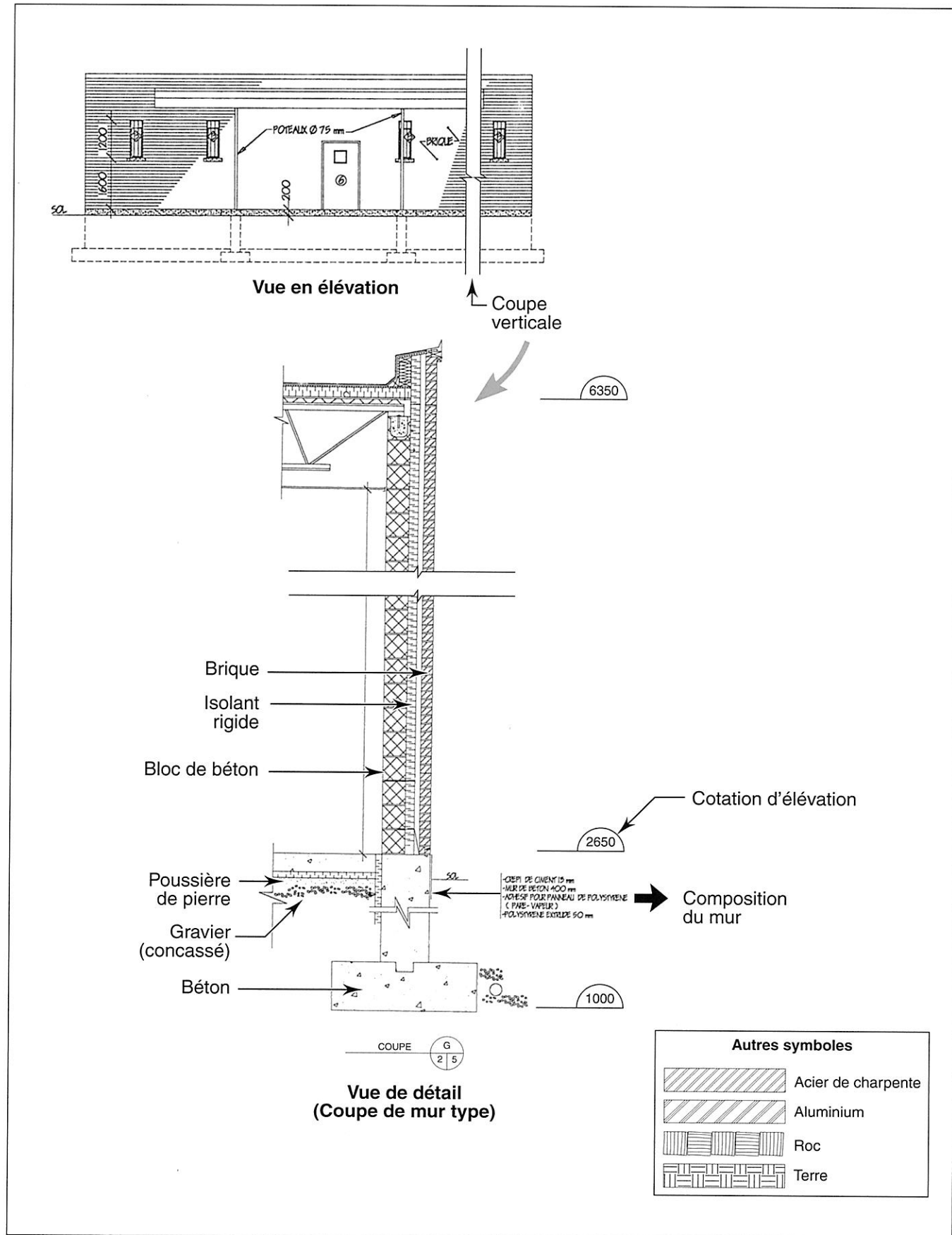


Figure 18 Les symboles



CARTOUCHE ET ÉCHELLE

Le cartouche d'inscription est situé dans le coin inférieur droit de chaque feuille de dessin. Il contient les données suivantes (figure 19) : nom et adresse du client, titre du projet, titre du dessin, nom et adresse de la firme qui a exécuté les dessins, numéro du projet, échelle utilisée, etc.

L'échelle permet de représenter un objet plus petit ou plus grand que sa taille réelle, tout en conservant les proportions. En dessin d'architecture, on utilise surtout des échelles qui permettent de réduire les objets (figure 20). De cette façon, on peut représenter clairement, sur une feuille à dessin de format standard, les détails nécessaires à la réalisation des travaux.

Figure 19 Cartouche d'inscription

Tableau de renseignements (informations diverses)			
Client		LES INDUSTRIES ZZZ MONTRÉAL (QC)	
Projet		AGRANDISSEMENT DES ENTREPÔTS CENTRE DE DISTRIBUTION RIGAUD (QC)	
Plan		FONDATIONS ÉDIFICE B	
CONSULTANT INC., MONTRÉAL (QC) Division structures			
Conception : J. LACOSTE 01/08/24	Dessiné par : R. MARINO 01/09/16	Vérifié par : D. DUBÉ 01/09/24	Approuvé par : A.M. PICHE 01/10/12
1218 - 604 - 8201 - S4			Plan 4 N° de 26
			Échelle : 1:200

Figure 20 Échelles métrique et impériale

Échelles impériales	Facteurs de réduction	Équivalents métriques
1/16" = 1'-0"	Rapport 1:192	1:200
3/32" = 1'-0"	Rapport 1:128	Aucune
1/8" = 1'-0"	Rapport 1:96	1:100
3/16" = 1'-0"	Rapport 1:72	1:75
1/4" = 1'-0"	Rapport 1:48	1:50
3/8" = 1'-0"	Rapport 1:32	Aucune
1/2" = 1'-0"	Rapport 1:24	1:25
3/4" = 1'-0"	Rapport 1:16	Aucune
1" = 1'-0"	Rapport 1:12	1:10
1 1/2" = 1'-0"	Rapport 1:8	1:10
3" = 1'-0"	Rapport 1:4	1:5
1' = 1'-0"	Rapport 1:1	1:1

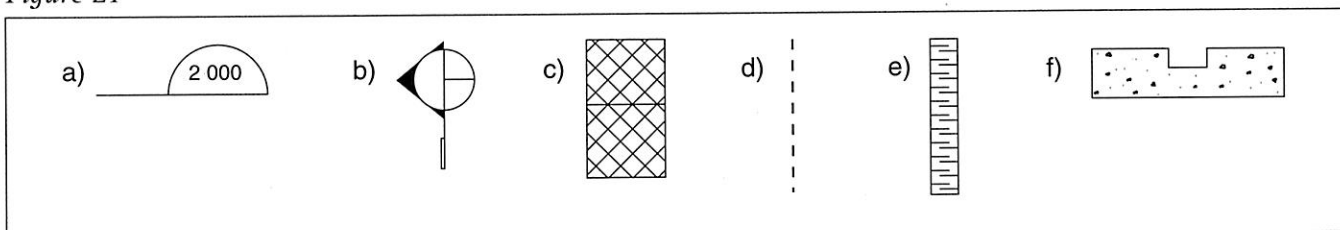


Les plans sont habituellement accompagnés d'un devis de construction, où sont précisés plusieurs détails du projet. Il faut nécessairement le consulter, car l'information contenue dans le devis l'emporte sur l'information présentée dans les plans.

Exercice 2

1. Que représentent les symboles suivants (figure 21)?

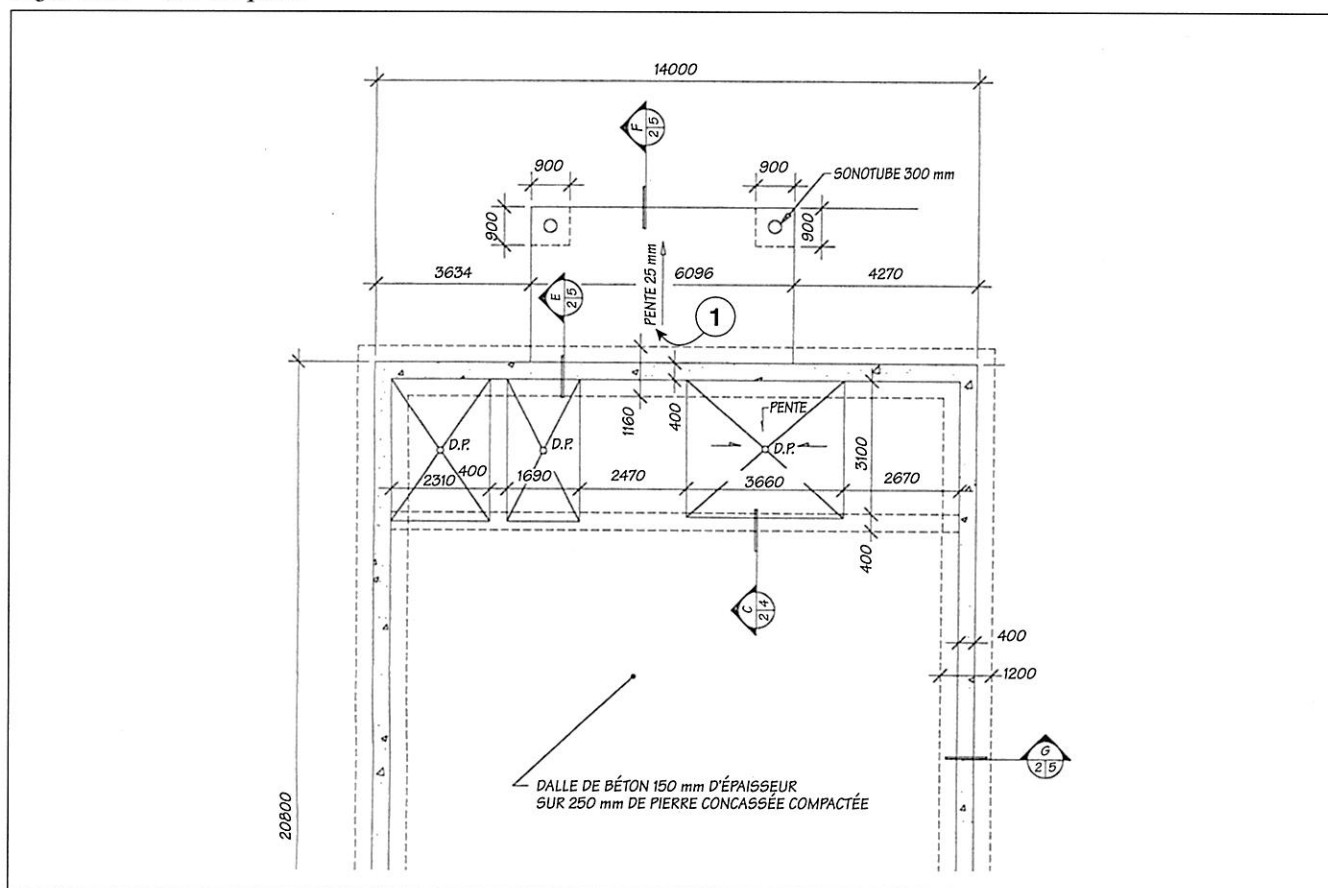
Figure 21



- a) _____
- b) _____
- c) _____
- d) _____
- e) _____
- f) _____

2. Répondez aux questions suivantes à l'aide de la figure 22.

Figure 22 Vue en plan



- a) Qu'indique le n° 1?

- b) Quelle coupe donne le détail du perron?

- c) Quelles sont les dimensions des semelles d'assise du perron?

d) Quelle est l'épaisseur du mur de fondation?

e) Quelle est l'épaisseur de la dalle de plancher?

FABRICATION DU BÉTON

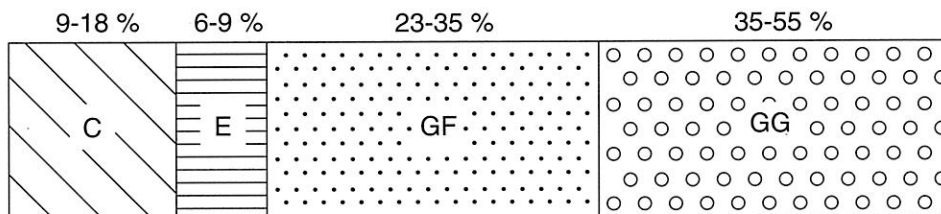
Le béton est un mélange composé de deux principaux éléments : la pâte et le granulat. La pâte permet de lier le granulat en une masse qui prend la consistance d'une roche à mesure qu'elle durcit.

COMPOSANTS DU BÉTON DE CIMENT

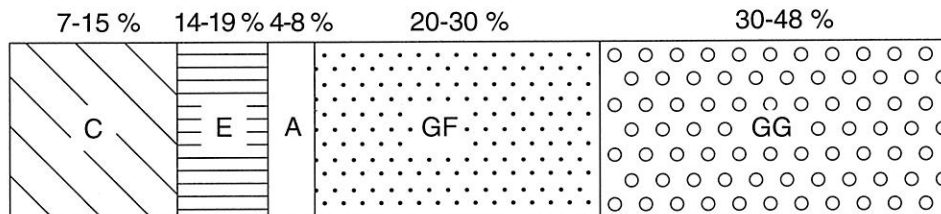
Généralement, le béton de ciment comprend 60 à 75 % de granulat et 25 à 40 % de pâte (figure 23). Des additifs, ou adjuvants, peuvent également être ajoutés pour obtenir des effets particuliers.

Figure 23 Proportions des composants du béton (CPCA)

Selon la masse



Selon le volume



C : Ciment
 E : Eau
 A : Air
 GF : Granulat fin
 GG : Gros granulat

Pâte

La qualité du béton est en grande partie liée à celle de la pâte. Le béton est bien constitué lorsque chaque particule de granulat est enrobée de pâte. La pâte est composée de ciment Portland, d'eau et d'air.

Ciment Portland

Le ciment Portland est un liant hydraulique, c'est-à-dire qu'il durcit en se combinant avec de l'eau. Il est composé de chaux, de fer, de silice et d'alumine. La CSA (Association canadienne de normalisation) définit cinq types de ciment Portland (figure 24).

Figure 24 Types de ciment Portland

Appellation	Type	Propriétés	Utilisations
Normal	10	Ouvrages de béton en général (lorsque les propriétés des autres types ne sont pas nécessaires).	– Chaussée; – trottoirs; – planchers; – ponts; – bâtiments de béton armé; – etc.
Modéré	20	Ouvrages de béton en général exposés à l'action modérée des sulfates ou lorsqu'on désire une chaleur d'hydratation modérée (bétonnage par temps chaud).	– Structures de drainage (où les concentrations en sulfate du sol ou de l'eau sont plus élevées que la normale); – piliers massifs; – murs de soutènement épais; – lourdes culées de pont.
Haute résistance initiale	30	Béton à résistance initiale élevée.	– Ouvrages nécessitant une haute résistance dans de brefs délais; – bétonnage par temps froid.
Faible chaleur d'hydratation	40	Béton à faible chaleur d'hydratation.	– Structures de béton massives.
Résistant aux sulfates	50	Béton à résistance élevée aux sulfates.	– Structures de drainage (où les concentrations en sulfate du sol ou de l'eau sont très élevées).

La norme CSA reconnaît aussi l'utilisation d'autres types de ciment Portland (figure 25).

Figure 25 Autres types de ciment Portland

Type	Propriétés	Utilisations
Ciment Portland blanc	Ciment Portland dont la couleur blanche provient de son procédé de fabrication.	– Murs-rideaux préfabriqués; – surfaces en terrazo; – stuc; – coulis à tuiles; – béton décoratif; – etc.
Ciment hydraulique composé* : Type 10S Type 10SM Type 10F Type 10FM Type 10SF	Ciment fabriqué à partir d'un mélange de ciment Portland et de pouzzolane ou de laitier de haut fourneau granulé.	– Ouvrages nécessitant une résistance initiale plus élevée.
Ciment à maçonner**	Ciment fabriqué à partir d'un mélange de ciment Portland, d'entraîneurs d'air et de matériaux complémentaires.	– Mortier à maçonnerie; – fabrication du crépi; – fabrication du stuc.

* La norme CSA A362 spécifie les exigences auxquelles doivent satisfaire les cinq types de ciment hydraulique composé.

** Le ciment à maçonner ne doit jamais servir à la fabrication du béton.



Certains ajouts, tels que des pouzzolanes, des laitiers et des fumées de silice, peuvent être intégrés au ciment pour en améliorer les propriétés. Pour être efficaces, ces ajouts doivent répondre à la norme CSA A23.5.

Pour ne pas perdre ses propriétés, le ciment Portland doit être entreposé dans un endroit où l'humidité relative est la plus faible possible. Le lieu d'entreposage doit être fermé, les sacs de ciment doivent reposer sur des palettes et, idéalement, être recouverts de bâches imperméables.

Eau de gâchage

L'eau de gâchage hydrate le ciment, ce qui permet le durcissement du béton. Toute eau naturelle potable (sans odeur ou goût prononcés) peut être utilisée pour la fabrication du béton. L'eau doit être exempte de quantités nuisibles d'huile, d'acides, d'alcalis, de chlorures solubles, de matières organiques ou de sédiments. Une eau contaminée peut entraîner les effets suivants sur le béton :

- Efflorescence et taches : Une poudre blanchâtre ou des taches de décoloration (ou d'hyperpigmentation) apparaissent sur la surface du béton en raison de la présence de sel dans l'eau de gâchage.
- Corrosion de l'acier : De la rouille apparaît sur l'armature de la structure de béton armé en raison de la présence de sel dans l'eau de gâchage.
- Diminution de la résistance : La résistance nominale du béton est diminuée si les concentrations permises de certaines substances courantes ne sont pas respectées. (L'eau potable respecte généralement les concentrations permises.)

- Modification du temps de prise : Le temps de prise déterminé peut être accéléré ou ralenti si l'eau de gâchage contient une concentration élevée de chlorures ou d'autres substances.



Lorsque l'eau de gâchage utilisée n'est pas potable, il faut toujours procéder à des tests pour en évaluer les effets sur les propriétés du béton.

Air

L'utilisation de l'air entraîné est recommandé pour presque tous les types de béton afin d'en améliorer la résistance au gel. Le béton à air entraîné est obtenu grâce à l'ajout d'un agent entraîneur d'air qui stabilise les bulles formées durant le malaxage du béton. Ce procédé a plusieurs effets sur les différentes caractéristiques du béton (figure 26).

Figure 26 Effet de l'air entraîné sur le béton (CPCA)

Caractéristiques	Effet
Ressuage	Diminution importante
Adhérence aux aciers	Diminution
Résistance en compression	Réduction d'environ 2 à 6 % par point de pourcentage d'augmentation de quantité d'air entraîné; les mélanges raides ou maigres peuvent gagner de la résistance.
Résistance en flexion	Réduction d'environ 2 à 4 % par point de pourcentage d'augmentation d'air
Résistance au gel-dégel	Amélioration importante au regard de la détérioration causée par les cycles de gel et de dégel à l'état de saturation
Module d'élasticité (statique)	Diminution avec l'augmentation d'air entraîné d'environ 720 à 1 380 MPa par point de pourcentage
Écaillage	Forte réduction
Affaissement	Augmentation avec la teneur en air à raison d'environ 25 mm par 0,5 à 1 % de teneur en air
Résistance aux sulfates	Amélioration importante
Conductivité thermique	Diminution de 1 à 3 % par point de pourcentage d'augmentation d'air
Diffusivité thermique	Diminution d'environ 1,6 % par point de pourcentage d'augmentation d'air
Masse volumique	Diminution avec l'augmentation d'air
Demande en eau du béton frais (à affaissement égal)	Diminution avec l'augmentation d'air; environ 3 kg/m ³ par point de pourcentage d'air
Étanchéité	Légère augmentation; la réduction du rapport eau/liant accroît l'étanchéité.
Ouvrabilité	Augmentation avec la quantité d'air

Note : L'information figurant dans ce tableau peut ne pas s'appliquer à toutes les situations.

Granulat

Le granulat est soit fin, soit gros. Le granulat fin est constitué de sable naturel ou artificiel, ou d'un mélange des deux; la majorité des particules sont d'une dimension inférieure à 5 mm. Quant au gros granulat, il se compose surtout de pierre concassée, de cailloux, de laitier de haut fourneau refroidi à l'air, ou d'un mélange de ces composants. La dimension des particules de gros granulat est généralement comprise entre 10 et 40 mm.



La granulométrie est un procédé qui permet de déterminer la taille du granulat. Il s'agit d'une étape nécessaire, car la taille du granulat influe sur les proportions relatives de granulat, les quantités de liant et d'eau nécessaires, la porosité, le retrait et la durabilité du béton.

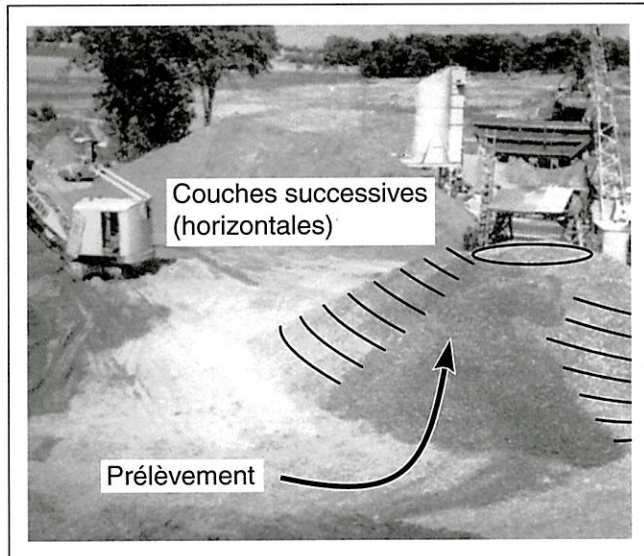


Le granulat ne doit pas avoir une forme dite « de couteau »; autrement, il est possible qu'il remonte, causant ainsi une surface irrégulière.

La manutention et l'entreposage du granulat doivent être effectués de façon à réduire les risques de ségrégation (figure 27), de dégradation et de contamination. Pour éviter la ségrégation du granulat, il faut procéder comme suit :

- Placer les chargements par couches horizontales.
- Prélever le granulat avec la pelle avant d'une chargeuse par tranches verticales de telle façon que chaque tranche contienne une portion de chaque couche horizontale.

Figure 27 Manutention du granulat (CPCA)





Depuis quelques années, on récupère du béton provenant de chaussées, de bâtiments ou autres structures pour recycler le granulat (figure 28). Écologique et économique, cette pratique consiste :

- à enlever le vieux béton;
- à fracasser le béton dans des broyeurs primaires et secondaires;
- à retirer les éléments inutiles (acier d'armature ou éléments noyés);
- à cribler et à laver les morceaux de béton;
- à entreposer le granulat produit.

Figure 28 Granulat en béton recyclé (CPCA)



Adjuvants

Il est possible de modifier les propriétés du béton en ajoutant des adjuvants lors du dosage. Les adjuvants servent généralement à réguler le délai de prise ou de durcissement, à réduire la teneur en eau, à accroître la maniabilité, à entraîner de l'air, etc. (figure 29).



Même si un adjuvant confère au béton les propriétés recherchées, on peut souvent obtenir des résultats similaires en modifiant les proportions du mélange ou en choisissant d'autres matériaux. Il faut donc comparer le coût de la modification du mélange de base avec le coût lié à l'utilisation d'un adjuvant (coût du produit, de son transport et de sa mise en œuvre).

Figure 29 Effets des différents types d'adjuvants (CPCA)

Type d'adjuvant	Effet désiré
Accélérateurs (chlorés ou non chlorés)	Accélèrent la prise et la résistance initiale.
Désentraîneurs d'air	Diminuent la teneur en air.
Entraîneurs d'air	Améliorent la durabilité dans des conditions de gel-dégel et en présence d'agents de déglacage et de sulfates. Améliorent l'ouvrabilité.
Adjuvants d'adhérence	Augmentent l'adhérence.
Colorants	Donnent un béton coloré.
Inhibiteurs de corrosion	Réduisent la corrosion de l'acier en présence de chlorures.
Hydrofuges	Retardent la pénétration de l'humidité dans le béton sec.
Fongicides, germicides et insecticides	Inhibent ou contrôlent la croissance bactérienne et fongique.
Agents moussants	Provoquent une dilatation avant la prise.
Agents d'injection	Ajustent les caractéristiques du coulis pour certaines applications.
Imperméabilisants	Réduisent la perméabilité.
Agents de pompage	Améliorent la pompabilité.
Retardateurs	Retardent la prise.
Superplastifiants* (Réducteurs d'eau à grande efficacité ou plastifiants)	Donnent un béton qui s'écoule bien. Réduisent le rapport eau/ciment.
Superplastifiants et retardateurs	Donnent un béton qui s'écoule bien et retardent la prise. Réduisent la quantité d'eau.
Réducteurs d'eau	Réduisent la quantité d'eau d'au moins 5 %.
Réducteurs d'eau et retardateurs	Réduisent la quantité d'eau d'au moins 5 % et retardent la prise.
Réducteurs d'eau à grande efficacité	Réduisent la quantité d'eau d'au moins 12 %.
Réducteurs d'eau à grande efficacité et retardateurs	Réduisent la quantité d'eau d'au moins 12 % et retardent la prise.
Fluidifiants	Améliorent l'ouvrabilité.

TYPES DE BÉTON

Lorsqu'un entrepreneur ou un maître d'ouvrage commande du béton de ciment, il doit tenir compte des propriétés de ce dernier par rapport au type de chantier. La CSA reconnaît sept principales classes de béton de ciment normal (figure 30).

Figure 30 Classes d'exposition du béton (CSA)

Classe de béton	Applications
C-1	Béton armé exposé aux chlorures, soumis ou non au gel et dégel. Exemples : tabliers de ponts, tabliers et rampes de stationnements, parties d'ouvrages maritimes situées à l'intérieur des zones de marées et d'éclaboussement, et bassins d'eau salée.
C-2	Béton non armé exposé aux chlorures ainsi qu'au gel et dégel. Exemples : planchers de garages, porches, marches, chaussées, trottoirs, bordures et caniveaux.
C-3	Béton constamment submergé, exposé aux chlorures, mais non soumis au gel et dégel. Exemple : parties d'ouvrages maritimes submergées.
C-4	Béton non armé exposé aux chlorures, mais non soumis au gel et dégel. Exemple : dalles sur le sol dans les stationnements intérieurs.
F-1	Béton soumis au gel et dégel, avec saturation, mais non exposé aux chlorures. Exemples : bords de piscines, patios, courts de tennis, piscines d'eau douce et installations de régulation des eaux douces.
F-2	Béton soumis au gel et dégel, sans saturation, mais non exposé aux chlorures. Exemples : murs et poteaux extérieurs.
N	Béton non exposé aux chlorures, ni au gel et dégel. Exemples : semelles et dalles, murs et poteaux intérieurs.
Notes : 1. Classes C : exposition aux chlorures. 2. Classes F : exposition au gel et dégel seulement. 3. Classe N : aucune exposition aux chlorures ni au gel et dégel.	



Le maître d'ouvrage d'un chantier doit toujours s'assurer de la conformité du béton. Pour ce faire, il doit faire appel à l'une des trois façons de spécifier les propriétés du béton (figure 31).

Figure 31 Variantes dans la façon de spécifier le béton (CSA)

Variante	Le maître d'ouvrage doit spécifier :	Le fournisseur doit garantir :
1. Courante : Si le maître d'ouvrage exige que le fournisseur de béton soit responsable du dosage du béton.	a) le type de ciment; b) le type d'ajouts cimentaires; c) la catégorie; d) la résistance à la compression spécifiée qui répond aux exigences structurales; e) la dimension nominale maximale du gros granulat; f) la teneur en air; g) les adjuvants et les caractéristiques particulières du béton à fabriquer; h) la densité du béton ne présentant pas une densité normale; i) toute autre propriété pouvant être requise, comme l'affaissement ou la résistance minimale à la flexion.	a) que les installations, le matériel et les matériaux utilisés dans la fabrication du béton sont conformes; b) que le dosage des mélanges produira la qualité et le rendement du béton spécifiés; c) que les résistances seront conformes.
2. Prescription : Si le maître d'ouvrage assume la responsabilité du dosage et des propriétés du béton.	a) le type et la quantité de liant selon la masse, par mètre cube de béton; b) la dimension nominale maximale du gros granulat et les proportions massiques du gros granulat et du granulat fin, par mètre cube de béton; c) la teneur maximale en eau, par mètre cube de béton; d) la plage admissible de teneurs en air; e) le ou les types d'adjuvants à utiliser; f) l'affaissement au point de déchargement.	a) que les installations, le matériel et les matériaux utilisés dans la fabrication du béton sont conformes à cette norme.
3. Performance : Si le maître d'ouvrage exige que le fournisseur de béton soit responsable du béton « tel que livré ».	a) la catégorie de béton; b) les critères de durabilité et de nature architecturale et structurale.	a) que le plan de qualité* assure la mesure et la consignation des critères de rendement; b) que le béton satisfait aux critères de rendement spécifiés avant de le livrer.
* Le plan de qualité doit indiquer l'affaissement spécifié ou une autre mesure de l'ouvrabilité du béton.		

Les « bétons spéciaux » sont appelés ainsi parce qu'ils ont des propriétés différentes du béton de ciment normal (figure 32).

Figure 32 Différents types de béton spéciaux

Types	Particularités	Utilisations
Béton structural léger et semi-léger	– Fabriqués à l'aide de granulats fin ordinaire et de gros granulats légers; – faible masse volumique; – bonne résistance à la compression.	– Agrandissement ou rénovation de bâtiments existants.
Béton léger de résistance moyenne (béton isolant)	– Faible masse volumique; – résistance à la compression moyenne.	– Isolant thermique et sonore pour toitures; – remblai de fondation de dalles sur sol; – couche de nivellement pour planchers et toitures; – murs coupe-feu; – protection thermique de conduites souterraines.
Béton lourd	– Fabriqué à l'aide de granulats lourds spéciaux; – grande masse volumique; – bonne résistance à la compression.	– Protection contre les radiations.
Béton de masse	– Fabriqué à l'aide de granulats de fort calibre (celui-ci compose jusqu'à 80 % de la teneur en granulats); – faible teneur en ciment.	– Toute structure nécessitant un volume important de béton (barrages ou autres).
Béton à granulats préplacés	– Produit en disposant le gros granulats dans le coffrage, puis en injectant la pâte et les adjuvants pour remplir les espaces vides; – faible retrait de séchage.	– Travaux de restauration; – boucliers de réacteurs; – piliers de ponts; – structures sous-marines; – effets spéciaux dans des édifices.
Béton sans affaissement	– Affaissement de 6 mm ou moins.	– Éléments de maçonnerie.
Béton compacté au rouleau (BCR)	– Mélange fabriqué dans un pétrin à malaxage continu pouvant atteindre un taux de production allant jusqu'à 400 tonnes à l'heure; – mis en place à l'aide d'une paveuse à asphalte.	– Structures de contrôle des eaux; – pavages.
Béton projeté (granite)	– Mortier ou béton projeté pneumatiquement à grande vitesse sur une surface.	– Construction ou rénovation de structures minces ou courbées.
Béton à retrait compensé	– Fabriqué à l'aide de ciment Portland auquel on a ajouté un adjuvant expansif pour en permettre la dilatation après la prise.	– Dalles; – pavages.
Béton caverneux	– Presque entièrement fabriqué de gros granulats, avec une pâte insuffisante pour combler tous les espaces vides.	– Ouvrages hydrauliques; – terrains de stationnement; – pavages; – pistes d'aéroport; – courts de tennis; – serres.
Béton fibre	– Béton conventionnel auquel on a ajouté des longueurs discontinues de fibres pour en améliorer la résistance.	– Pavages; – chapes; – colmatages; – constructions hydrauliques; – voiles minces; – produits préfabriqués.

DOSAGE

Le dosage permet de déterminer la combinaison de matériaux la plus économique et qui permet de produire un béton qui répond aux exigences du chantier. Avant de faire le calcul, on doit déterminer les caractéristiques du mélange en fonction de l'emploi auquel on le destine, des conditions d'exposition et des caractéristiques physiques requises.

Caractéristiques du béton

Maniabilité

La maniabilité requise pour un mélange de béton dépend des conditions de mise en œuvre; un béton trop raide risque de compliquer les opérations de mise en place, de consolidation et de finition, alors qu'un béton trop fluide aura tendance à ressuer et à se ségréger. La maniabilité du béton dépend de trois facteurs : le rapport eau/ciment, la proportion de pâte et les adjuvants (figure 33). La maniabilité du béton se traduit par un indice d'affaissement adapté au type d'ouvrage (figure 34).

Figure 33 Facteurs influant sur la maniabilité

Rapport E/C (eau/ciment)	↑ Rapport E/C	=	↑ Maniabilité
	↓ Rapport E/C	=	↓ Maniabilité
Proportion de pâte	↑ Rapport de pâte	=	↑ Maniabilité
	↓ Rapport de pâte	=	↓ Maniabilité
Utilisation d'adjuvants	– Plastifiants – Entraîneurs d'air – Réducteurs d'eau	=	↑ Maniabilité
	– Pouzzolanes – Pigments minéraux	=	↓ Maniabilité

Figure 34 Affaissement recommandé

Utilisation	Affaissement	
	Minimal	Maximal
Murs de fondation et semelles avec armature	20 mm	80 mm
Semelles, caissons et murs de sous-œuvre non armés	20 mm	80 mm
Dalles, poutres, colonnes et murs avec armature	50 mm	100 mm
Trottoirs, entrées de garages ou dalles sur le sol	20 mm	80 mm
Chaussées et chapes	20 mm	50 mm
Béton de masse	0 mm	50 mm
CSA A23.1-00		

Résistance à la compression

La résistance à la compression (f'_c) correspond à la force nécessaire pour rompre le matériau (exprimée en mégapascals ou MPa). Le rapport E/C (eau-ciment) est le principal facteur qui influe sur la résistance (figure 35).

Figure 35 Facteurs influant sur la résistance à la compression

Rapport E/C (eau/ciment)	↑ Rapport E/C	=	↓ Résistance
	↓ Rapport E/C	=	↑ Résistance
Autres facteurs influant sur la résistance à la compression : – caractéristiques du granulat; – type de ciment; – teneur en air; – adjuvants; – etc.			



La plupart des devis exigent que la résistance nominale du béton soit atteinte au bout de 28 jours.

Effets des proportions des différents composants

Teneur en air

La teneur en air recommandée dépend des conditions d'exposition et de la dimension du gros granulat. Plus les conditions sont sévères, plus il est avantageux d'entraîner de l'air dans le béton. Toutefois, plus le gros granulat est de grande dimension, moins il y a d'air entraîné dans le béton.

Granulat

La granulométrie est le principal facteur à prendre en compte lors du dosage. L'utilisation de gros granulat de la plus grande dimension possible est la solution la plus économique. Toutefois, la norme CSA A23.1 spécifie que la grosseur maximale du granulat ne doit pas excéder :

- le cinquième de l'espace entre les coffrages (éléments non armés);
- les trois quarts de l'espace entre les barres d'armature ou entre le coffrage et les barres d'armature;
- le tiers de l'épaisseur dans le cas des dalles.

Ciment

Étant donné que le ciment Portland est le composant le plus coûteux du béton, on cherche généralement à en réduire la teneur. Toutefois, une trop grande réduction de la teneur en ciment peut créer certains problèmes : mélange moins plastique, finition plus difficile, diminution de la résistance, etc. De fait, le mélange doit toujours contenir suffisamment de pâte de ciment pour enrober les particules de granulat (figure 36).

Figure 36 Teneurs minimales en ciment et en eau à respecter

Résistance à la compression	Dosage minimal en ciment selon la dimension nominale du gros granulat			
	Sans air entraîné		Avec air entraîné	
	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm
15 MPa	285 kg/m ³	250 kg/m ³	290 kg/m ³	255 kg/m ³
20 MPa	325 kg/m ³	290 kg/m ³	335 kg/m ³	300 kg/m ³
25 MPa	365 kg/m ³	320 kg/m ³	390 kg/m ³	340 kg/m ³
Dosage maximal en eau	200 kg/m ³	180 kg/m ³	170 kg/m ³	150 kg/m ³
CSA A23.1-00				

Méthodes de dosage

La méthode de dosage la plus courante est celle des volumes absolus. Mise au point par l'ACI (American Concrete Institute), cette méthode permet de déterminer la composition d'un mélange de béton à partir de tables, de graphiques et de normes indiquant les caractéristiques moyennes des composants.

Voici en quoi consiste cette méthode :

1. On doit d'abord connaître les caractéristiques liées au mélange :

- le type de béton requis :
 - la résistance à la compression requise,
 - le degré d'exposition;
- le type de ciment Portland utilisé;
- les propriétés du granulat (fin et gros);
- autres caractéristiques pertinentes.

2. On calcule le volume absolu de chaque composant du mélange de béton à partir de l'équation de base (figure 37).

Figure 37 Équation de base

La somme des volumes absolus
de chaque ingrédient = 1 m³

$$\text{ou}$$

$$\frac{m_e}{1\,000} + \frac{m_c}{1\,000\,d_c} + \frac{m_p}{1\,000\,d_p} + \frac{m_s}{1\,000\,d_s} + \frac{A}{100} = 1$$

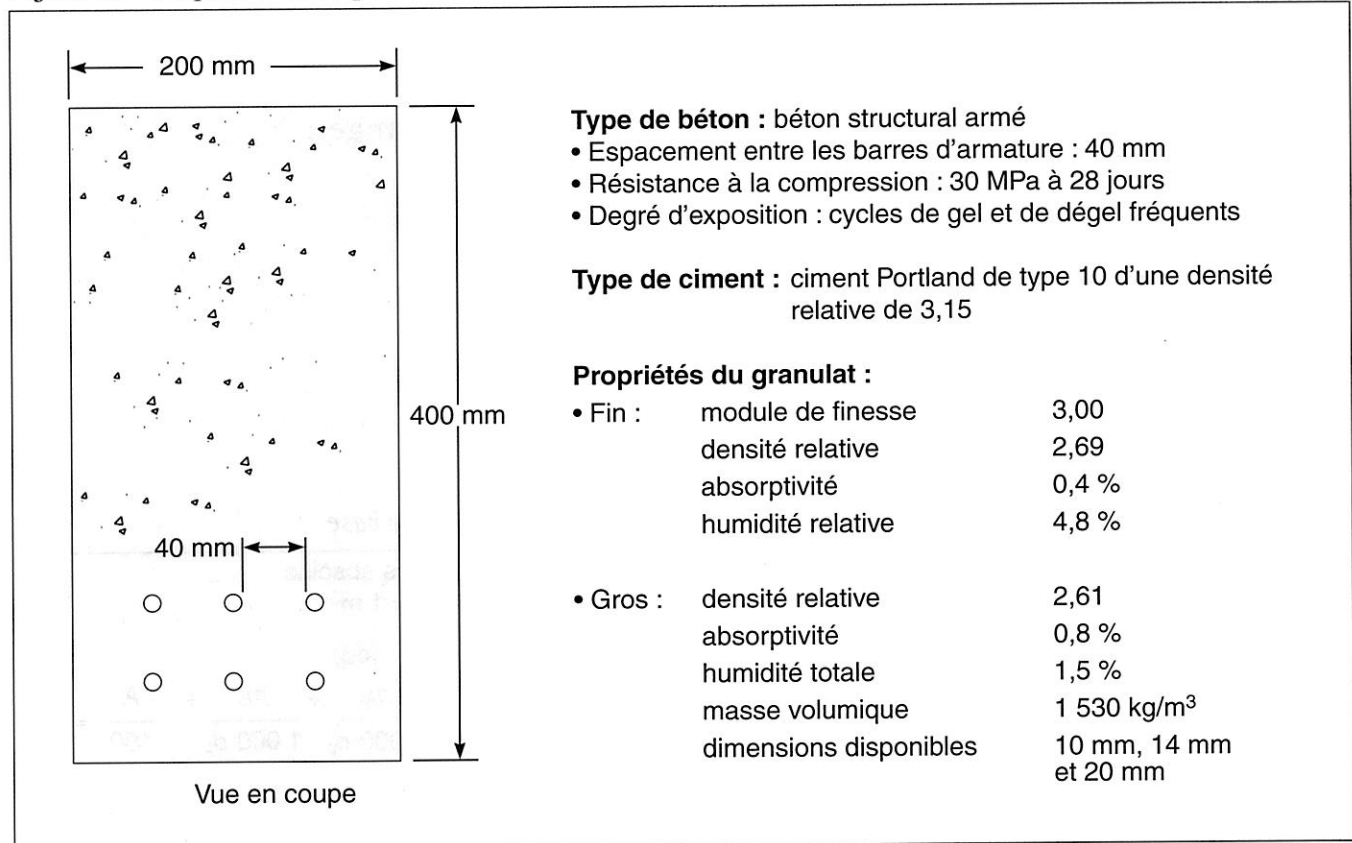
Légende :

m_e : masse requise d'eau
 m_c : masse requise de ciment
 m_p : masse requise de gros granulat
 m_s : masse requise de granulat fin
 A : teneur en air du béton
 (exprimée en pourcentage)
 d_c : densité relative du ciment
 d_p : densité relative du gros granulat
 d_s : densité relative du granulat fin

Exemple :

On veut calculer le dosage du béton servant à réaliser une poutre ayant les caractéristiques spécifiées à la figure 38.

Figure 38 Propriétés de la poutre



Voici comment procéder pour déterminer le volume et la masse des différents composants du béton :

1. Déterminer l'affaissement (figure 39).
2. Déterminer la dimension maximale du granulat en fonction de l'espacement entre les barres d'armature :
 - Dimension maximale du gros granulat = 30 mm (soit les 3/4 de 40)

Figure 39 Tableau indiquant l'affaissement recommandé

Utilisation	Affaissement	
	Minimal	Maximal
Murs de fondation et semelles avec armature	20 mm	80 mm
Semelles, caissons et murs de sous-œuvre non armés	20 mm	80 mm
Dalles, poutres, colonnes et murs avec armature	50 mm	100 mm
Trottoirs, entrées de garages ou dalles sur le sol	20 mm	80 mm
Chaussées et chapes	20 mm	50 mm
Béton de masse	0 mm	50 mm
CSA A23.1-00		

- Dimension maximale du gros granulat disponible = 20 mm



La dimension du granulat doit être inférieure aux trois quarts de l'espacement minimal entre les barres.

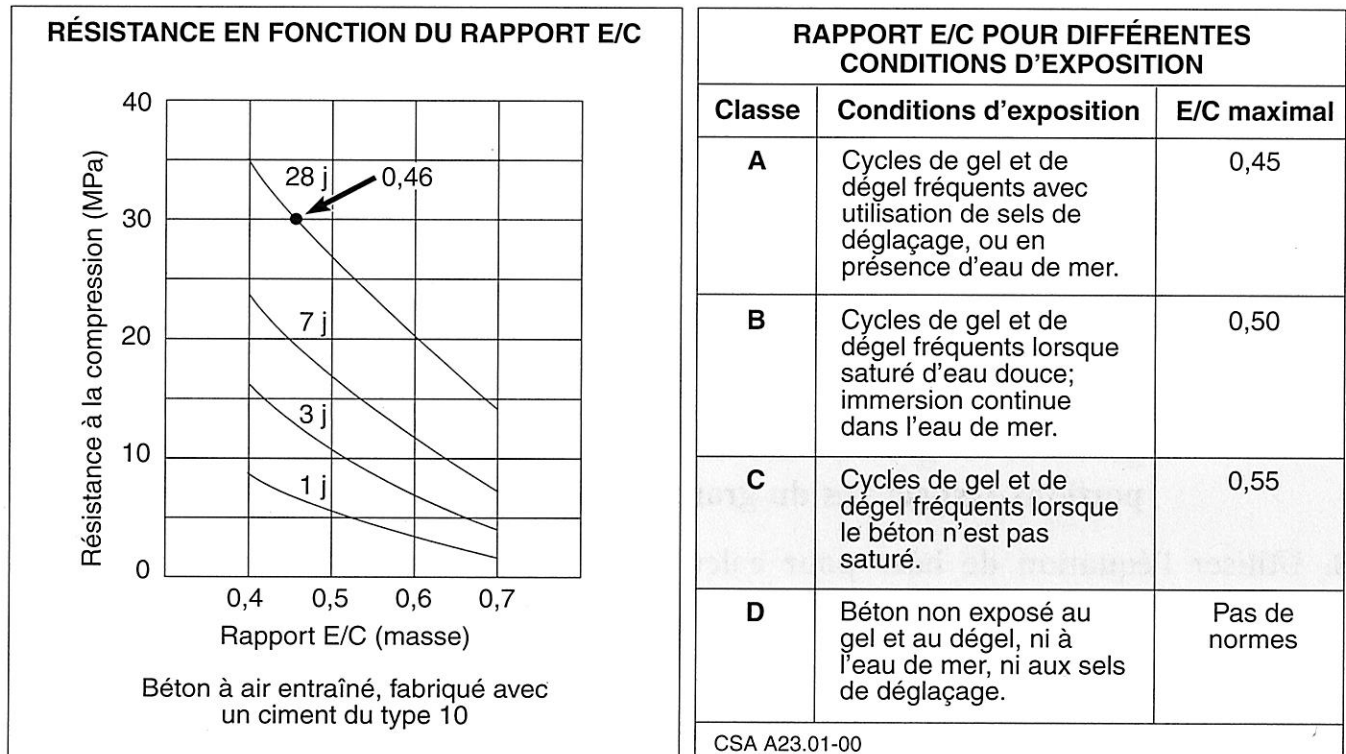
3. Déterminer le dosage en eau (figure 40).

Figure 40 Dosage en eau (kg/m^3)

Affaissement	Dimension maximale du gros granulat			
	10 mm	14 mm	20 mm	40 mm
50 mm	185 kg/m^3	175 kg/m^3	165 kg/m^3	150 kg/m^3
100 mm	200 kg/m^3	190 kg/m^3	180 kg/m^3	160 kg/m^3
150 mm	215 kg/m^3	205 kg/m^3	195 kg/m^3	175 kg/m^3

4. Déterminer le rapport E/C en tenant compte de la résistance (30 MPa à 28 jours) et de l'exposition (si les deux rapports sont différents, choisir le rapport le plus restrictif) (figure 41).

Figure 41 Rapport E/C (ACCP)



5. Calculer le dosage en ciment à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Dosage en ciment} = \frac{\text{dosage en eau}}{\text{rapport E/C}}$$

Donc :

$$\frac{180 \text{ kg/m}^3}{0,46} = 391 \text{ kg/m}^3$$

6. Calculer la quantité de gros granulat (figure 42).

7. Déterminer la teneur en air (figure 43).

Figure 42 Quantité requise de gros granulat

Dimension maximale du gros granulat	Module de finesse du sable	
	2,50	3,00
10 mm	0,49	0,44
14 mm	0,59	0,54
20 mm	0,65	0,60
40 mm	0,74	0,69
CSA A23.01-00		
Pour un granulat fin ayant un module de finesse de 3,00 et avec un gros granulat de 20 mm, le volume de gros granulat est égal à 0,60 m³. Pour produire une gâchée de 1 m³ : 0,60 m³ × 1 530 kg/m³ = 918 kg Volume (gros granulat) → Masse volumique		

Figure 43 Teneur en air recommandée

Type d'exposition	Teneur en air selon la dimension nominale du gros granulat			
	10 mm	14 mm	20 mm	40 mm
A	7-10 %	6-9 %	5-8 %	4-7 %
B	6-9 %	5-8 %	4-7 %	3-6 %
C	5-8 %	4-7 %	3-6 %	3-6 %
D	5 %	4 %	3 %	3 %
CSA A23.01-00				

Résultat moyen = 5 %



Le module de finesse du granulat se définit comme la somme des pourcentages cumulatifs retenus sur une série de tamis normalisés donnée, divisée par 100. Plus le module de finesse est élevé, plus le granulat est gros. Le module de finesse est utile pour estimer les proportions respectives du granulat fin et du gros granulat d'un béton.

8. Utiliser l'équation de base pour calculer les volumes absolus pour chacun des composants à partir des données recueillies (figure 44).



Les résultats sont généralement présentés dans un tableau des résultats.

Figure 44 Tableau des résultats

Constituants	Masse	Volumes absolus	
Eau	180 kg	$\frac{180}{1\,000} = 0,180 \text{ m}^3$	<i>a</i>
Ciment	$\frac{180}{0,46} = 391 \text{ kg}$	$\frac{391}{3,15 \times 1\,000} = 0,124 \text{ m}^3$	<i>b</i>
Air	Ø	5 % de $1 \text{ m}^3 = 0,050 \text{ m}^3$	<i>c</i>
Gros granulat	$0,60 \times 1\,530 = 918 \text{ kg}$	$\frac{918}{2,61 \times 1\,000} = 0,352 \text{ m}^3$	<i>d</i>
Sous-total		0,706	<i>e</i>
Granulat fin	$0,294 \times 2\,690 = 791 \text{ kg}$	$1,000 - 0,706 = 0,294 \text{ m}^3$	<i>f</i>
Total	2 280 kg	1 000 m ³	

La quantité de granulat fin (*f*) correspond au volume restant du mélange.
Donc, si on reprend l'équation de base, on obtient :

$$a + b + c + d + f = 1$$

Dans laquelle

$$a + b + c + d = e$$

Donc :

$$e + f = 1$$

$$f = 1 - e$$

Gâchées d'essai

D'autres méthodes de dosage peuvent être utilisées. Par exemple, la méthode par gâchées d'essai permet de calculer les proportions optimales d'un mélange à partir de quelques essais sur les composants du béton. Toutefois, cette méthode n'est pas souvent employée par les cimentiers-applicateurs, car elle doit être effectuée en laboratoire.

MALAXAGE DU BÉTON

Le béton doit être malaxé jusqu'à ce qu'il ait une apparence uniforme et que ses ingrédients soient répartis de façon homogène. Il y a trois principaux types de malaxages, soit stationnaire, continu et à haute énergie.

Malaxage stationnaire

Les malaxeurs stationnaires (partie A de la figure 45), qui ont des capacités de 0,1 à 9 m³, permettent de malaxer les composants directement sur le chantier ou en centrale. En général, on verse environ 10 % de l'eau de gâchage dans la cuve avant d'ajouter les composants solides (liants, granulats et adjuvants). On continue ensuite de verser l'eau en même temps qu'on introduit les composants solides, en réservant un autre 10 % qui sera versé lorsque tous les autres composants auront été ajoutés dans la cuve du malaxeur.



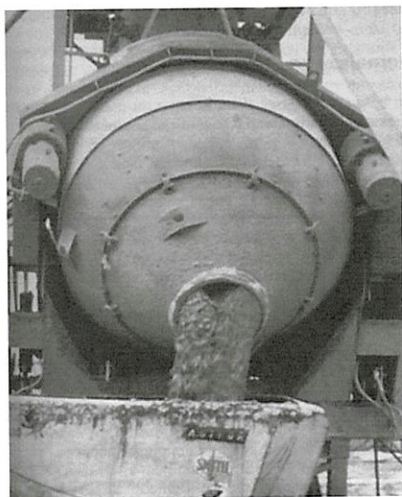
Les cahiers de charges exigent généralement un temps de malaxage de 1 min pour les malaxeurs stationnaires ayant une capacité de 1 m³ et moins. Il faut ajouter 20 s pour chaque mètre cube (ou fraction de mètre cube) supplémentaire.

Malaxage continu (bétonnières mobiles)

Les bétonnières (partie B de la figure 45) dosent et malaxent le béton sans arrêt à mesure que les composants du béton sont introduits dans le malaxeur.

Figure 45 Malaxages stationnaire et continu (CPCA)

A) Malaxeurs stationnaires



B) Bétonnière mobile



Malaxage à haute énergie

La technique de malaxage à haute énergie consiste à mélanger le liant et l'eau pour en faire un coulis. Celui-ci est ensuite ajouté au granulat, puis malaxé jusqu'à l'obtention d'un mélange uniforme. Le malaxage à haute énergie permet de mélanger l'eau et les liants plus étroitement, améliorant ainsi les propriétés du béton.



Le béton frais tend à se raidir lorsqu'il est laissé dans la cuve du malaxeur tournant à vitesse d'agitation. On peut néanmoins utiliser ce béton si, après remalaxage, il redevient suffisamment malléable pour pouvoir être consolidé dans les coffrages.

Malaxage du béton prêt à l'emploi

Le béton prêt à l'emploi est dosé et malaxé en dehors du chantier, selon l'une des méthodes suivantes :

- Malaxage en centrale : Le béton est entièrement malaxé dans un malaxeur stationnaire, puis livré par bétonnière ou camion malaxeur.
- Malaxage partiel : Le béton est partiellement malaxé dans un malaxeur stationnaire, et le malaxage est complété dans un camion malaxeur.
- Malaxage en camion : Le béton est entièrement malaxé dans un camion malaxeur.

MÉTHODES DE TRANSPORT ET DE MANUTENTION

Il existe plusieurs méthodes de transport et de manutention du béton. Lors du choix de la méthode, il faut considérer le type de chantier, ses dimensions, la quantité totale de béton requise, l'échéancier et surtout l'emplacement des éléments de bétonnage (le béton devant toujours être amené le plus près possible de son emplacement final) (figure 46).

Figure 46 Équipement de transport et de manutention du béton (CPCA)

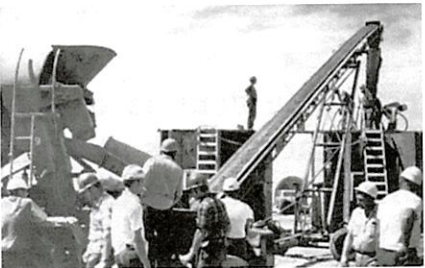
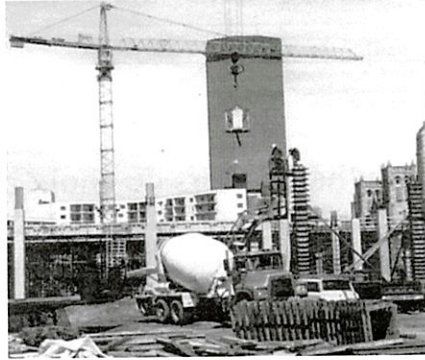
Équipement	Types de travaux auxquels il se prête le mieux	Avantages
Convoyeur à bande 	Pour transporter du béton horizontalement ou à un niveau plus élevé ou plus bas. Ordinairement employé entre le point de déversement principal et un point de déversement secondaire.	Portée ajustable, section orientable et vitesses avant et arrière variables. Permet la mise en place rapide de gros volumes de béton quand l'accès est limité.
Convoyeur à bande monté sur camion malaxeur 	Pour transporter le béton à un point situé à un niveau inférieur, au même niveau ou à un niveau plus élevé.	Le convoyeur arrive en même temps que le béton. Portée ajustable et vitesse variable.
Benne 	Utilisée avec des grues, des blondins (téléphériques) et des hélicoptères pour la construction de bâtiments et de barrages. Transporte le béton directement du point de déchargement central aux coffrages ou au point de déchargement secondaire.	Permet d'exploiter toute la polyvalence des grues, des blondins et des hélicoptères. Déchargement propre. Vaste gamme de capacités.
Goulotte 	Pour transporter le béton à un niveau inférieur, habituellement sous le niveau du sol, dans tous les types d'ouvrages de béton.	Faible coût et facilité de manœuvre. Aucune énergie nécessaire; la force de gravité fait la majeure partie du travail.

Figure 46 Équipement de transport et de manutention du béton (suite) (CPCA)

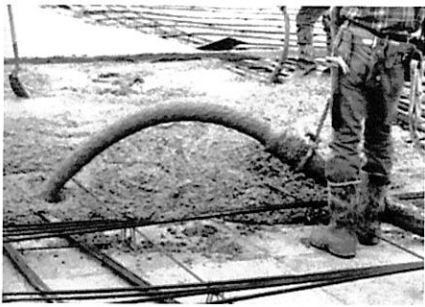
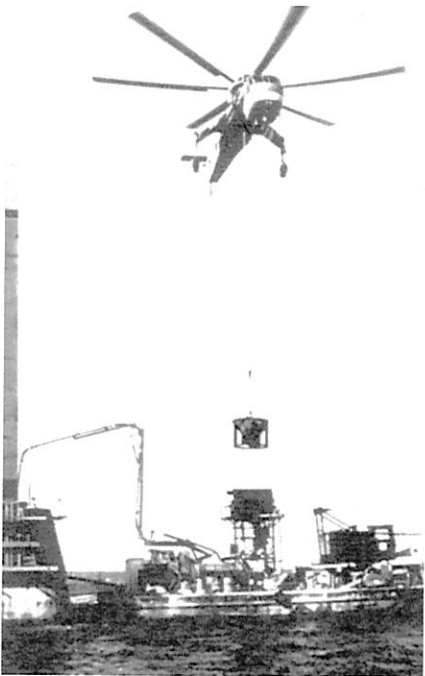
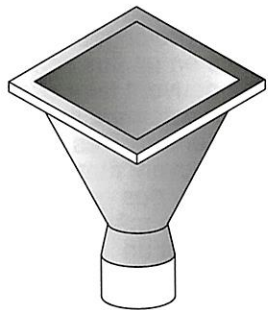
Équipement	Types de travaux auxquels il se prête le mieux	Avantages
Système de pompage 	Pour acheminer le béton directement du point de déchargement central du chantier, aux coffrages ou à un point de déchargement secondaire, lorsque le camion ne peut s'y rendre directement.	Les tuyaux prennent peu d'espace et peuvent être facilement prolongés. Le béton est débité en un flux continu. Les pompes peuvent faire circuler le béton verticalement ou horizontalement. Des pompes mobiles peuvent être utilisées sur des petits ou des grands chantiers. Les mâts des pompes fixes assurent un approvisionnement continu en béton pour la construction des immeubles de grande hauteur.
Épandeur à vis 	Sert à répandre le béton sur des surfaces planes, comme les chaussées.	Permet d'étaler rapidement et uniformément, sur une grande superficie, une gâchée de béton déchargée par une benne ou un camion. Le béton répandu présente déjà un compactage relativement uniforme avant le compactage final par vibration.
Hélicoptère et benne 	Équipement bien adapté pour le travail au-dessus du niveau du sol.	Peut manipuler du béton, de l'acier d'armature, des coffrages et divers objets sur les chantiers des immeubles de grande hauteur à ossature en béton.

Figure 46 Équipement de transport et de manutention du béton (suite) (CPCA)

Équipement	Types de travaux auxquels il se prête le mieux	Avantages
Trémie 	Pour la mise en place du béton sous l'eau.	Peut servir à canaliser le béton sous l'eau jusque dans la fondation ou une autre partie de la structure.
Chariot 	Pour les transports sur courtes distances dans tout type de chantiers.	Très polyvalent. Idéal sur les chantiers où les conditions de mise en place varient constamment.

Exercice 3

1. Associez les éléments de bétonnage au rôle correspondant (figure 47).

Figure 47 Rôle des éléments de bétonnage

a) Eau de gâchage	☐	1. Réduit la perméabilité.
b) Pâte	☐	2. Provoque la dilatation avant la prise du béton.
c) Air	☐	3. Permet le durcissement du béton.
d) Retardateur de prise	☐	4. Lie le granulat pour en faire une masse homogène.
e) Agent moussant	☐	5. Permet de modifier les propriétés du béton.
f) Superplastifiant	☐	6. Améliore la résistance du béton.
g) Adjuvant	☐	7. Prolonge la période durant laquelle le béton demeure maniable.
h) Imperméabilisant	☐	8. Améliore la plasticité du béton.

2. Quelle classe de béton de ciment doit-on utiliser pour réaliser les ouvrages suivants?

a) Planchers de garages

b) Murs et poteaux intérieurs

c) Tabliers de ponts

d) Murs et poteaux extérieurs

e) Ouvrages sous-marins

f) Contours de piscines

g) Dalles de stationnements

3. Remplissez les espaces libres du tableau de la figure 48 à l'aide des mots suivants : granulat lourd – béton isolant – affaissement – béton fibre – béton projeté – pétrin à malaxage continu – béton à granulat préplacé.

Figure 48 Propriétés des types de béton

Types	Particularités
_____	– Produit en disposant le gros granulat dans le coffrage, puis en injectant la pâte et les adjuvants pour remplir les espaces vides.
Béton lourd	– Fabriqué à l'aide de _____ spécial.
_____	– Faible masse volumique et résistance à la compression moyenne.
_____	– Béton conventionnel auquel on a ajouté des longueurs discontinues de fibres pour en améliorer la résistance.
Béton compacté au rouleau (BCR)	– Mélange fabriqué dans un _____ pouvant atteindre un taux de production allant jusqu'à 400 tonnes à l'heure.
_____	– Mortier ou béton projeté pneumatiquement à grande vitesse sur une surface.
Béton sans affaissement	– _____ de 6 mm ou moins.

4. Indiquez quel type d'équipement est le plus approprié pour réaliser chacun des travaux suivants :

a) Couler une semelle de poteau dans une cave.

b) Couler les murs de fondations d'une maison.

c) Couler une fondation située à 500 m du camion transporteur.

d) Couler une dalle de béton sous l'eau.

e) Épandre le béton servant à réaliser la surface d'un pont.

f) Transporter du béton sur le toit d'un bâtiment à l'aide d'une grue ou d'un hélicoptère.

5. Parmi les caractéristiques suivantes, cochez celles que vous devez considérer lors du dosage du béton.

a) La granulométrie ☐

b) La teneur en eau ☐

c) La couleur du ciment ☐

d) Le nombre de cimentiers-applicateurs ☐

e) L'air entraîné ☐

f) La résistance à la compression ☐

g) Le type de transporteur ☐

h) L'affaissement ☐

i) Le rapport eau/liant ☐

j) L'emploi d'adjuvants ☐

6. À l'aide des tables de la figure 49, calculez le volume absolu des composants d'un mélange de béton destiné à une dalle d'un quai de chargement.

Figure 49 Tables de dosage (CPCA)

Utilisation	Affaissement	
	Minimal	Maximal
Murs de fondation et semelles avec armature	20 mm	80 mm
Semelles, caissons et murs de sous-œuvre non armés	20 mm	80 mm
Dalles, poutres, colonnes et murs avec armature	50 mm	100 mm
Trottoirs, entrées de garages ou dalles sur le sol	20 mm	80 mm
Chaussées et chapes	20 mm	50 mm
Béton de masse	0 mm	50 mm

Affaissement	Dimension maximale du gros granulat			
	10 mm	14 mm	20 mm	40 mm
50 mm	185 kg/m ³	175 kg/m ³	165 kg/m ³	150 kg/m ³
100 mm	200 kg/m ³	190 kg/m ³	180 kg/m ³	160 kg/m ³
150 mm	215 kg/m ³	205 kg/m ³	195 kg/m ³	175 kg/m ³

Classe d'exposition	Résistance minimale spécifiée à la compression à 28 jours (MPa)	Rapport maximal eau/liant	Catégorie de teneur en air
C-1	35	0,40	*
C-2	32	0,45	1
C-3	30	0,50	2
C-4	25	0,55	2
F-1	30	0,50	1
F-2	25	0,55	2
N	Pour besoins structuraux	Pour besoins structuraux	—

Résistance en compression à 28 jours (MPa)	Rapport eau/ciment Portland (masse)	
	Béton sans air entraîné	Béton à air entraîné
40	0,42	—
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

- Propriétés de la dalle de quai :
 - Type de béton : béton structural armé de classe F-1
 - Espacement minimal entre les barres d'armature : 100 mm
 - Résistance à la compression : 30 MPa à 28 jours
 - Degré d'exposition : humidité intense et cycles gel et dégel fréquents
 - Type de ciment : ciment Portland de type 10 d'une densité relative de 3,15
 - Propriétés du granulat :
 - fin : sable naturel dont la densité est de 2,64 avec un module de finesse de 6 %
 - gros : gravier de diamètre maximal de 20 mm contenant des particules concassées d'une densité de 2,68 et d'une masse volumique de 1 600 kg/m³ ayant un volume recommandé de 0,62 m³
 - Teneur en air recommandée : 7 % (air entraîné)
- a) Volume absolu de l'eau :

- b) Volume absolu du ciment :

- c) Volume absolu du gros granulat :

- d) Volume absolu de l'air :

- e) Volume absolu du granulat fin :

7. Vrai ou faux?	Vrai	Faux
a) Une recette de béton de ciment normal compte 50 % de granulat et 50 % de pâte.	☐	☐
b) Lorsque vous ajoutez un adjuvant à une recette de béton, vous en diminuez sensiblement les coûts.	☐	☐
c) Lorsque vous évaluez une quantité de béton, vous devez prévoir de 10 à 15 % de béton en plus pour compenser les pertes éventuelles.	☐	☐
d) Un malaxage en centrale implique que le béton est entièrement malaxé dans un malaxeur stationnaire.	☐	☐
e) Lorsque vous calculez le pas d'un escalier, vous devez effectuer deux des trois calculs proposés.	☐	☐
f) Les particules de granulat fin ont un diamètre inférieur à 5 mm.	☐	☐
g) Le dosage permet de déterminer la combinaison la plus économique des matériaux pour faire un béton qui répond aux exigences du chantier.	☐	☐
h) Le maître d'ouvrage qui assume la responsabilité du dosage et des propriétés du béton doit en spécifier les propriétés de façon prescriptive.	☐	☐
i) Lorsque vous regardez un plan et que vous voyez le symbole représentant la ligne de coupe, les chiffres renvoient aux pages de référence.	☐	☐
j) Lorsqu'on coule une grande surface de béton, par exemple sur les routes, il faut se servir de râteaux pour l'étendre sur toute la surface.	☐	☐

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Annexe A – Solutionnaire

Exercice 1

1. a) $8 \frac{1}{2}$ b) $\frac{9}{32}$ c) 56,39 d) 269,56
2. a) $1 \frac{17}{55}$ b) 339,57 c) 127,16 d) $11 \frac{1}{10}$

3.

Solution
Calculer le volume total de la voie d'accès : $7,0 \text{ m} \times 6,25 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 4,375 \text{ m}^3$ Calculer le volume occupé par les briques : $(0,2 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \times 7,0 \text{ m}) + (0,2 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \times 7,0 \text{ m}) + (0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \times 7,0 \text{ m}) = 0,35 \text{ m}^3$ Soustraire le volume occupé par les briques du volume total de la voie d'accès : $4,375 \text{ m}^3 - 0,35 \text{ m}^3 = 4,025 \text{ m}^3$ Additionner les pertes : $4,025 \text{ m}^3 + 10 \% = 4,4275 \text{ m}^3$ Calculer le coût du béton en appliquant la règle de trois : $\begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 \longrightarrow 142,25 \$ \\ 4,4275 \text{ m}^3 \longrightarrow x \$ \\ \frac{4,4275 \text{ m}^3 \times 142,25 \$}{1 \text{ m}^3} = 629,81 \$ \end{array}$

d) 629,81 \$

4. a)

Solution

Diviser l'élévation par la hauteur idéale d'une contremarche :
 $712,50 \text{ mm} \div 180 \text{ mm} = 3,958 \text{ CM}$

Arrondir le nombre de contremarches à l'unité la plus près :
 $3,958 \text{ CM} \longrightarrow 4 \text{ CM}$

Diviser l'élévation par le nombre de contremarches :
 $712,50 \text{ mm} \div 4 = 178,125 \text{ mm}$

Convertir en pouces :
 $178,125 \times 0,03937 = 7,013 \text{ po}$

Arrondir les résultats :
 178 mm et 7 po

178 mm ou 7 po

b)

Solution

Soustraire la hauteur de CM de la moyenne de la formule 1 pour calculer le pas (440 mm) :
 $440 \text{ mm} - 178 \text{ mm} = 262 \text{ mm}$

Vérifier le pas à l'aide des formules 2 et 3 pour s'assurer qu'il est conforme :

– $262 \text{ mm} + (2 \times 178 \text{ mm}) = 618 \text{ mm} = 610 \text{ à } 635 \text{ mm} \longrightarrow \text{Oui}$

– $262 \times 178 = 46\,636 \text{ mm} = 45\,000 \text{ à } 48\,500 \text{ mm} \longrightarrow \text{Oui}$

Convertir en pouces :
 $262 \text{ mm} \times 0,03937 = 10,315 \text{ po}$

Arrondir au dixième de pouce :
 $10,3 \text{ po}$

262 mm ou 10,3 po

Exercice 2

1. a) Cotation d'élévation

b) Ligne de plan de coupe

c) Blocs de béton

d) Ligne de contour caché

e) Isolant rigide

f) Béton (semelle)

2. a) Le perron a une pente de 25 mm vers l'extérieur.
- b) La coupe F
- c) 900 mm × 900 mm
- d) 400 mm
- e) 150 mm

Exercice 3

1. a) 3 b) 4 c) 6 d) 7 e) 2 f) 8 g) 5 h) 1
2. a) C-2 b) N c) C-1 d) F-2 e) C-3 f) F-1 g) C-4
3. Figure A-1

Types	Particularités
<u>Béton à granulat préplacé</u>	– Produit en disposant le gros granulat dans le coffrage, puis en injectant la pâte et les adjuvants pour remplir les espaces vides.
Béton lourd	– Fabriqué à l'aide de <u>granulat lourd</u> spécial.
<u>Béton isolant</u>	– Faible masse volumique et résistance à la compression moyenne.
<u>Béton fibre</u>	– Béton conventionnel auquel on a ajouté des longueurs discontinues de fibres pour en améliorer la résistance.
Béton compacté au rouleau (BCR)	– Mélange fabriqué dans un <u>pétrin à malaxage continu</u> pouvant atteindre un taux de production allant jusqu'à 400 tonnes à l'heure.
<u>Béton projeté</u>	– Mortier ou béton projeté pneumatiquement à grande vitesse sur une surface.
Béton sans affaissement	– <u>Affaissement</u> de 6 mm ou moins.

4. a) Convoyeur, goulotte ou chariot d) Trémie
- b) Convoyeur, goulotte ou chariot e) Épandeur à vis
- c) Système de pompage f) Benne
5. a, b, e, f, h, i et j

6. a)

Solution
Déterminer l'affaissement à l'aide du tableau : Dalles = 50 mm (minimum) et 100 mm (maximum) Déterminer la dimension maximale des granulats (3/4 de l'espacement entre les barres d'armature) : $\frac{3}{4} \times 100 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$ maximum Déterminer la dimension maximale des granulats disponibles : Gravier de diamètre maximal de 20 mm Choisir la dimension la plus petite, donc 20 mm Déterminer le dosage en eau : Affaissement maximal = 100 mm, et Diamètre maximal = 20 mm, donc 180 kg/m³ Calculer le volume absolu de l'eau : $\frac{180}{1\,000} = 0,18 \text{ m}^3$

Volume absolu de l'eau : 0,18 m³

b)

Solution
Déterminer les deux rapports E/C (eau/liant) : Béton de type F-1 : Rapport maximal eau/liants : 0,50 Résistance en compression à 28 jours de 30 MPa pour béton à air entraîné : 0,45 Choisir le plus restrictif des deux : 0,45 Calculer le dosage du ciment : Dosage en eau ÷ E/C = 180 kg/m³ ÷ 0,45 = 400 kg/m³ Calculer le volume absolu du ciment en tenant compte de sa densité relative : $\frac{400 \text{ kg/m}^3}{3,15 \times 1\,000} = 0,127 \text{ m}^3$

Volume absolu du ciment : 0,127 m³

c)

Solution
Calculer la quantité requise de gros granulat : Volume recommandé : $0,62 \text{ m}^3$ Masse volumique : $1\,600 \text{ kg/m}^3$ $0,62 \text{ m}^3 \times 1\,600 \text{ kg/m}^3 = 992 \text{ kg}$ Calculer le volume absolu du gros granulat en tenant compte de sa densité : $\frac{992 \text{ kg}}{2,61 \times 1\,000} = 0,38 \text{ m}^3$

Volume absolu du gros granulat : $0,38 \text{ m}^3$

d)

Solution
Calculer le volume de l'air : $7\% \text{ de } 1 \text{ m}^3 = 0,07 \text{ m}^3$

Volume absolu de l'air : $0,07 \text{ m}^3$

e)

Solution
Calculer les volumes absolus de l'eau, du ciment, de l'air et du gros granulat : $0,18 \text{ m}^3 + 0,127 \text{ m}^3 + 0,38 \text{ m}^3 + 0,07 \text{ m}^3 = 0,757 \text{ m}^3$ Soustraire ce total d'un mètre cube afin d'obtenir le volume absolu du granulat fin : $1 \text{ m}^3 - 0,757 \text{ m}^3 = 0,243 \text{ m}^3$

Volume absolu du granulat fin : $0,243 \text{ m}^3$

7. a) Faux. Il comprend 60 à 75 % de granulat et 25 à 40 % de pâte.
- b) Faux. Pas nécessairement; il faut comparer le coût de la modification du mélange de base avec le coût lié à l'utilisation d'un adjuvant.
- c) Faux. Il faut prévoir de 5 à 10 % de béton supplémentaire.
- d) Vrai
- e) Faux. Il faut effectuer les trois calculs. Par contre, deux résultats conformes sont suffisants.
- f) Faux. Dans un granulat fin, la plupart des particules ont une dimension inférieure à 5 mm.
- g) Vrai
- h) Vrai
- i) Vrai
- j) Faux. On se sert d'un épandeur à vis.

– Merci de votre précieuse collaboration –

2955, boulevard de l'Université, 5^e étage
Sherbrooke (Québec) J1K 2Y3
Att. : Responsable de production
Tél. : 819 822-6886 Téléc. : 819 822-6892
Courriel : cepeq@cepeq.qc.ca

- Dans le cas de fautes de frappe, d'orthographe et de ponctuation, de nombres et d'unités de mesure incorrectement écrits, d'une réponse inexacte ou d'autres objets de même nature, photocopiez la page du document, corrigez l'erreur à l'encre rouge et faites-la-nous parvenir.
- Veuillez remplir cette fiche dans les cas qui demandent davantage d'explications (à la suite d'explications insuffisantes, de manque de schémas explicatifs, de texte « nébuleux », de manque d'exemples de problèmes résolus, etc.).

Titre du document : _____

[illegible]

