

Le Béton

Marwa Ben khalifa-Saba FRADI

www.cours-genie-civil.com

Sommaire

- Composition du béton.
- Essais faites sur le béton frais/durcis (qualité)
- Mise en oeuvre
- Formulation du béton (Dreux Goriss)

Rappel:

- Le béton est un mélange dans les proportions appropriées de granulats de ciment et d'eau.
- Les granulats, constitués de sables, gravillons et cailloux, forment un squelette rigidifié dont les vides entre éléments sont remplis par une pâte formée d'un mélange d'eau et de ciment.
- Pour fixer les idées dans un m³ de béton, les ordres de grandeur sont les suivantes:

•ciment	de 250	à	500 Kg
•sable	de 600	à	700 Kg
•gravillons	de 1000	à	1200 Kg
•eau	de 150	à	200 Kg

1. Les granulats

Le granulat est un matériau inerte qui provient:

- **Soit de gisements** : sélectionnés au moyen d'un simple criblage: granulats roulés
- **Soit d'extraction de roches massives** broyés pour obtenir les dimensions désirées: granulats concassés
- **Soit de fabrications particulières** pour la réalisations de bétons spéciaux: bétons légers, béton lourds, bétons réfractaires....

Ils ne devront pas contenir des matières nocives pour présenter des caractéristiques physiques mécaniques compatibles aux résultats attendus.

Les sables de mer peuvent provoquer des efflorescences sur les parements et ne sont généralement pas admis pour le béton précontraint vu leur teneur en sulfates et chlorures.

2. L'eau de gâchage

- L'eau de gâchage ne doit pas contenir des matières organiques. En règle générale l'eau potable convient.
- L'eau de mer n'est pas recommandée, elle est interdite pour le béton armé, précontraint.

Toute eau douteuse doit subir une analyse chimique

3. Les adjuvants

- Les adjuvants sont des produits qui améliorent les propriétés du béton. Ils sont ajoutés en très faible quantité lors de malaxage.
- A signaler toutefois que le recourt aux adjuvants ne peut pas considérer comme une solution d'une mauvaise étude de béton ou une mauvaise mise en œuvre.
- Les adjuvants sont classifiés en fonction de leurs propriétés.

3. Les adjuvants

- On peut classer les adjuvants en trois catégories:

1^{er} catégorie

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton

2^{ème} catégorie

- Ceux qui modifient la prise et le durcissement

3^{ème} catégorie

- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières

1^{er} catégorie: Plastifiants

Les plastifiants: jouent le rôle d'augmenter l'ouvrabilité du béton

L'ouvrabilité : c'est une caractéristique du béton frais ;c 'est la capacité du béton à pouvoir être mis en œuvre facilement.

- Utilisés dans les grands travaux de génie civil nécessitant des résistances élevées.

Les super plastifiants: ils vont provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité sans causer la ségrégation du béton.

- Dans les dallages , béton pompé:





2ème catégorie

- Accélérateurs de prise:

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise.

➤ Recommandés pour les bétonnages à temps froid.

➤ Les décoffrages rapides

- Accélérateur de durcissement:

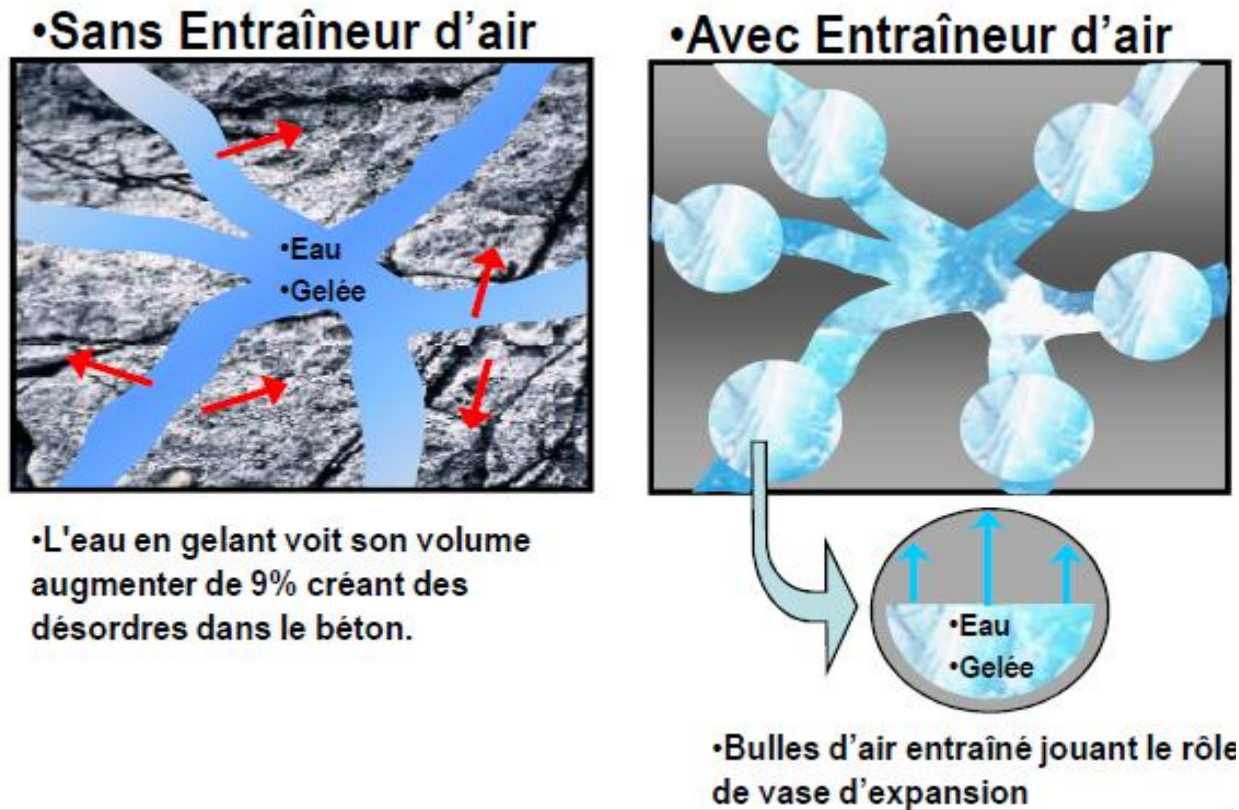
Accélère le durcissement du béton

- Les retardateurs de prise:

Le retardateur de prise a pour fonction principale d'augmenter le temps de début et de fin de prise.

3ème catégorie

- Les entraîneurs d'air: entraînent la formation dans le béton des microbulles d'air uniformément réparties dans la masse



- Béton routier ,béton exposé à des effets de gel/dégel

- Réducteur d'eau : vont conduire à une augmentation de la résistance mécanique par une réduction de la teneur en eau (de 10 à 35 l/m³). En effet la diminution de la teneur en eau entraîne une augmentation de sa compacité par conséquent de sa durabilité. Cette amélioration des caractéristiques résulte de la diminution des vides dus à l'excès d'eau.

La prise

- Le début de prise varie de 2 à 4 heures
- L'explication la plus fréquente de la fausse prise vient de la présence plus au moins élevée du gypse dans les ciments

Le durcissement et la résistance

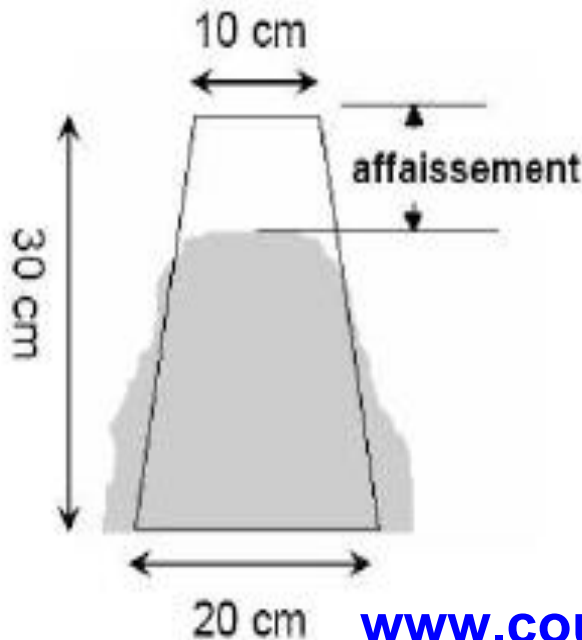
- Le durcissement du béton continue pendant quelques jours voire des mois.
- Les paramètres influant sur la résistance :
 - La nature, la qualité et le dosage des constituants
 - Les conditions de mise en œuvre et de conservation du béton
- La mesure de la résistance: Mesure par écrasement axial d'éprouvette de béton cylindrique d'élanement 2

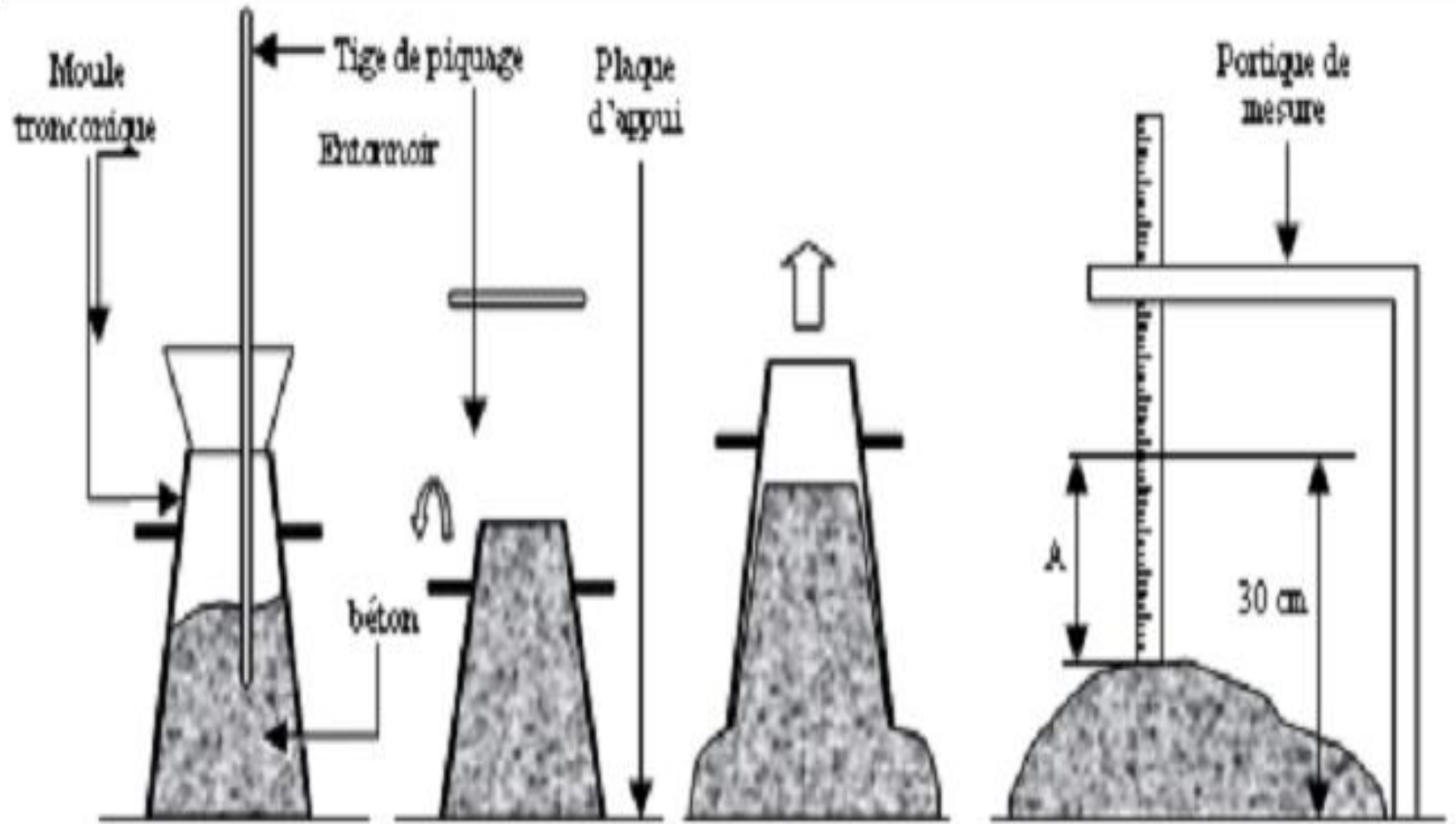
-Les calculs des structures sont effectués sur la base de résistance en compression à 28 js mais des valeurs à un âge intermédiaire peuvent être nécessaire pour autoriser certaines phases d'exécution telles que décintrement ou mise en tension d'armatures.

Évaluation de la plasticité d'un béton

• Affaissement au cône d'Abrams :

- moule tronconique en tôle
- portique avec réglette coulissante permettant après démoulage de mesurer l'affaissement





1. Mise en place par piquage (en 3 couches)

2. Arasement

3. Soulèvement du moule tronconique

4. Mesure de l'affaissement A (dans la mirrite qui suit le démoulage)

- **Appréciation de la consistance du béton :**

affaissement	Béton	Mise en oeuvre
0 à 2 cm	Très ferme	Vibration puissante
3 à 5 cm	Ferme	Bonne vibration
6 à 9 cm	Plastique	Vibration courante
10 à 13 cm	Mou	piquage
10 à 14 cm	Très mou	Léger piquage

- **autres essais pour évaluer la plasticité :**

- Étalement à la table à secousses.
- Essai au maniabilimètre (L.C.P.C.).
- Test C.E.S. (Centre d'Essais des Structures).

Qualités essentielles d'un béton

Aspects relatifs à la **composition** et à la **mise en œuvre** du béton



Aspects relatifs au comportement **mécanique** du béton

• **l'ouvrabilité** : c'est la qualité d'un béton qui permet sa **maniabilité** en conservant son **homogénéité**.

• **la résistance** : il s'agit surtout de la **résistance** à la **compression** (également à la **traction**) .

La condition d'ouvrabilité est fixée par la **plasticité** du béton

Essais et mesures

Plasticité du béton

Dosage en eau

Insuffisance d'eau

- Difficulté de mise en œuvre.
- Défauts de parement.
- Enrobage défectueux des aciers.
- Chute des résistances mécaniques par manque de compacité.

Inconvénients

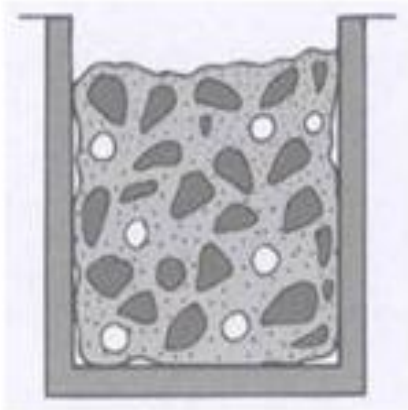
Excès d'eau

- Chute des résistances mécaniques en compression et en traction.
- Retrait accentué.
- Porosité accentuée.
- Perméabilité accentuée.
- Ségrégation à craindre.

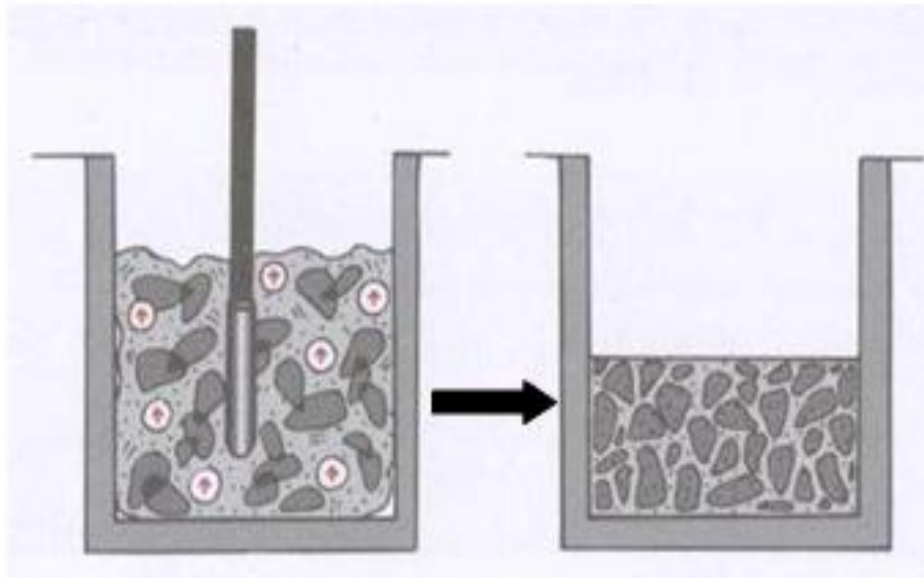
MISE EN OEUVRE DU BETON

Mise en place du béton :

Vibration du béton

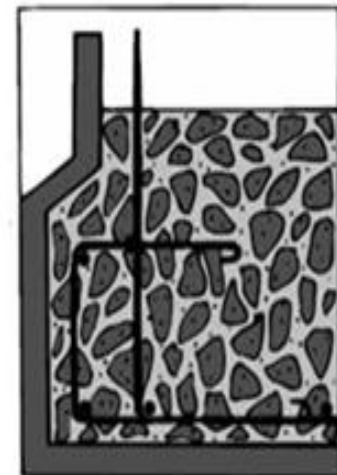
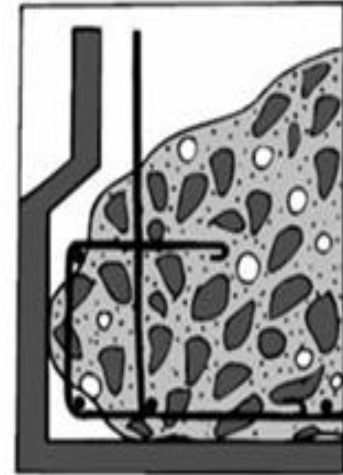


→ **vibration**



Une vibration *adaptée* apporte :

- une densité du béton plus élevée,
(donc une porosité plus faible)
 - gain de résistance mécanique,
 - meilleure durabilité du béton,
- une mise en œuvre plus aisée,
 - meilleur remplissage des coffrages,
 - meilleure esthétique des parements,
 - bonne adhérence béton/armatures,





Non vibré

Vibré



d'un même béton



béton non vibré $m=1.7696\text{Kg}$



pour le béton vibré $m=2.384\text{Kg}$

Vibration superficielle

- S'applique au moyen des règles vibrantes posées puis tirées sur des guides (dalles d'épaisseur $< 20\text{cm}$).
- Peut, également, être utilisée pour assurer la fonction de surface de dalles épaisses.

Règle vibrante



Vibration interne (per vibration)

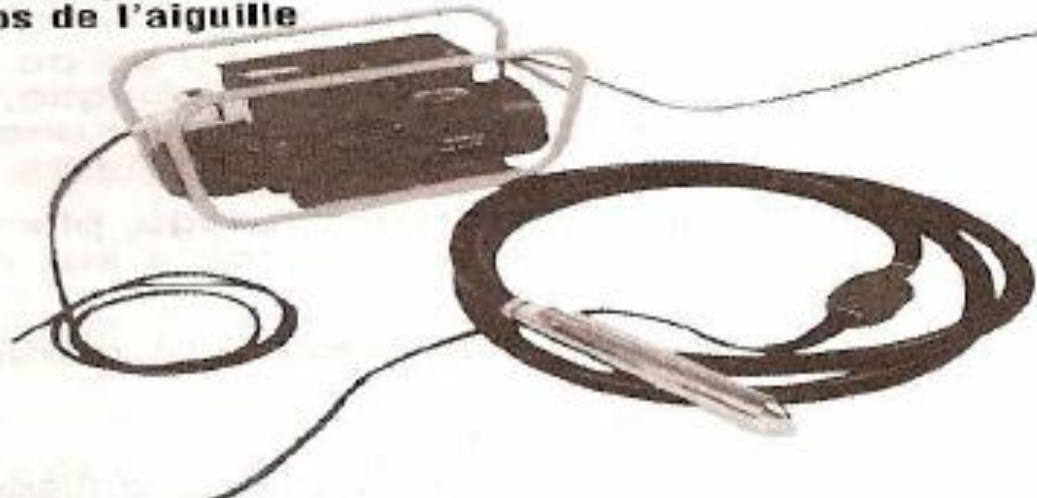
- Réaliser au moyen d'aiguilles vibrantes de 3 à 7 cm de diamètres et de 30 à 60 cm de longueur plongées et remontées verticalement dans chaque couche de béton
- Eviter de maître le vibreur sur les armatures
- Il existe des aiguilles à air comprimé ou électrique; les fréquences varient de 9000 à 12 000 oscillations par min.
- La durée d'immersion de l'aiguille ne doit pas provoquer de remontée de laitance
- Temps optimal de vibration correspond au dégagement de l'air et début d'apparition de laitance.
- Toute couche superposée à une précédente est vibrée en faisant pénétrer l'aiguille dans la couche inférieure.

Vibration du béton

Aiguille vibrante pneumatique



Vibrateur électrique : le moteur d'entraînement est logé directement dans le corps de l'aiguille

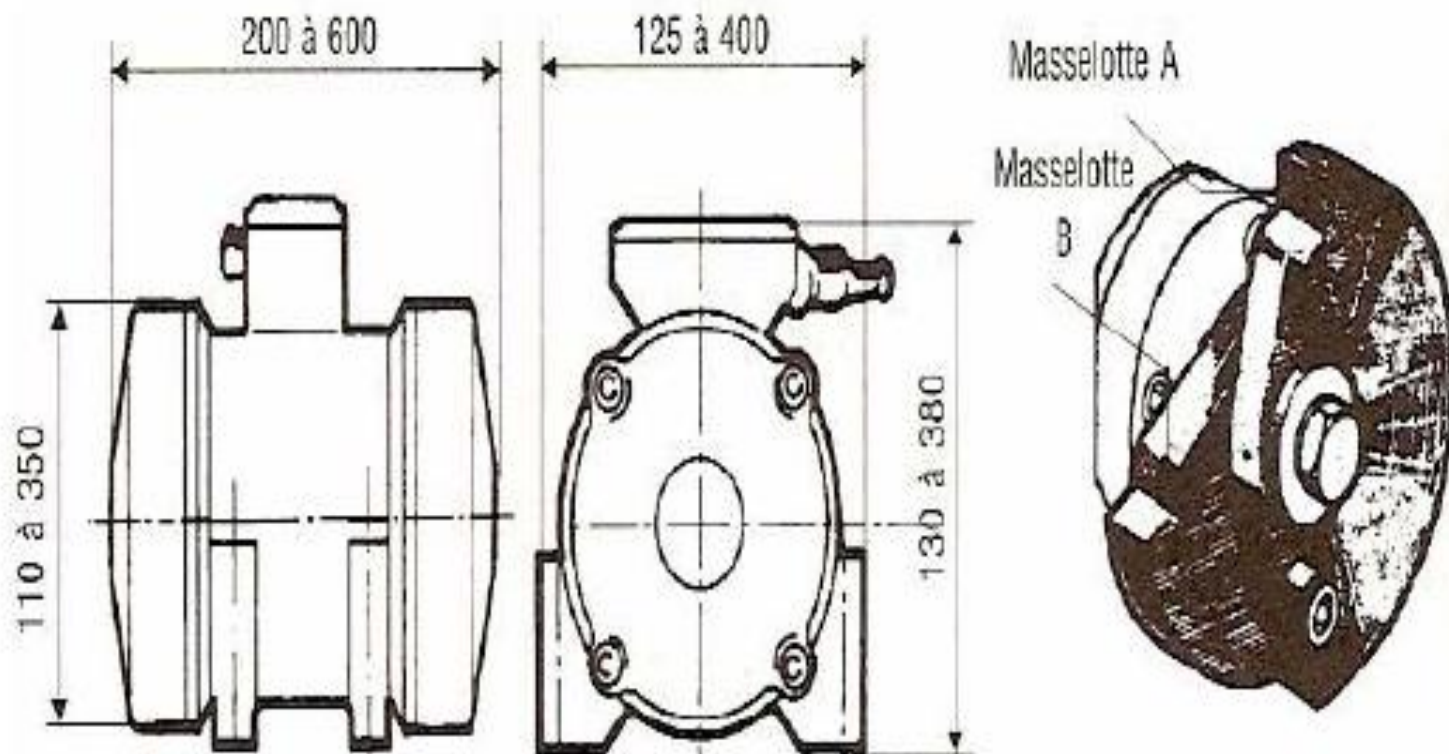






Vibration externe

- Lorsque la vibration interne s'avère difficile ou impossible, on fixe à l'extérieur du coffrage des vibreurs qui se déplacent au fur et à mesure de la progression du bétonnage.



MISE EN OEUVRE DU BETON

La cure du béton

Cure de béton

- Dans le béton l'eau est strictement nécessaire à l'hydratation du ciment.
- L'eau en supplément ne sert qu'à donner une bonne maniabilité au béton lors de sa mise en place.
- Il faut maintenir cette eau libre durant toute la durée de la prise pour être sûr de toujours avoir l'eau nécessaire à l'hydratation.
- Pour cela il faut limiter l'évaporation par les parements surtout après le décoffrage → Cure du béton

Les différents procédés de cure possibles

- Employer des bâches étanches.
 - Utiliser un produit de cure limitant l'évaporation, mais compatible avec la destination ultérieure de la surface.
 - Par humidification: immersion, arrosage, emploi des nattes ou de toiles maintenues humides
- www.cours-genie-civil.com



Conditions d'application de la cure

- Pour une surface coffrée la cure s'applique dès le décoffrage.
- Pour une surface non coffrée la cure s'applique dès la fin du bétonnage
- La durée d'application de la cure est fonction de plusieurs paramètres:
 - Rapidité de durcissement du béton
 - Humidité relative de l'air
 - Température ambiantes
 - Vent
 - Ensoleillement ..
- La durée de la cure peut être donnée soit par un tableau soit par un abaque

Cure du béton

③ Durée de cure en jours

Ambiance (1)		Classe I		Classe II		Classe III	
Type (2) de durcissement	Rapide	0	1	1	2	1	2
	Moyen	1	2	2	4	4	8
	Lent	1	2	4	8	5	10

(1) Ambiance :

Classe I : béton à l'abri du soleil et du vent, humidité relative de l'air \geq à 80 %.

Classe II : autres cas que ceux visés dans les classes I et III.

Classe III : humidité relative de l'air $<$ à 50 % et, soit ensoleillement, soit vent fort (vitesse en régime soutenu \geq 30 km/heure)

(2) Durcissement des bétons

Rapide : pour des ciments de classe 32,5R, 42,5, 42,5R, 52,5, 52,5R.

Moyen : pour des ciments de classe 35 et 45.

Lent : pour des ciments CHF-CEM III/A ou B et CLK-CEM III/C.

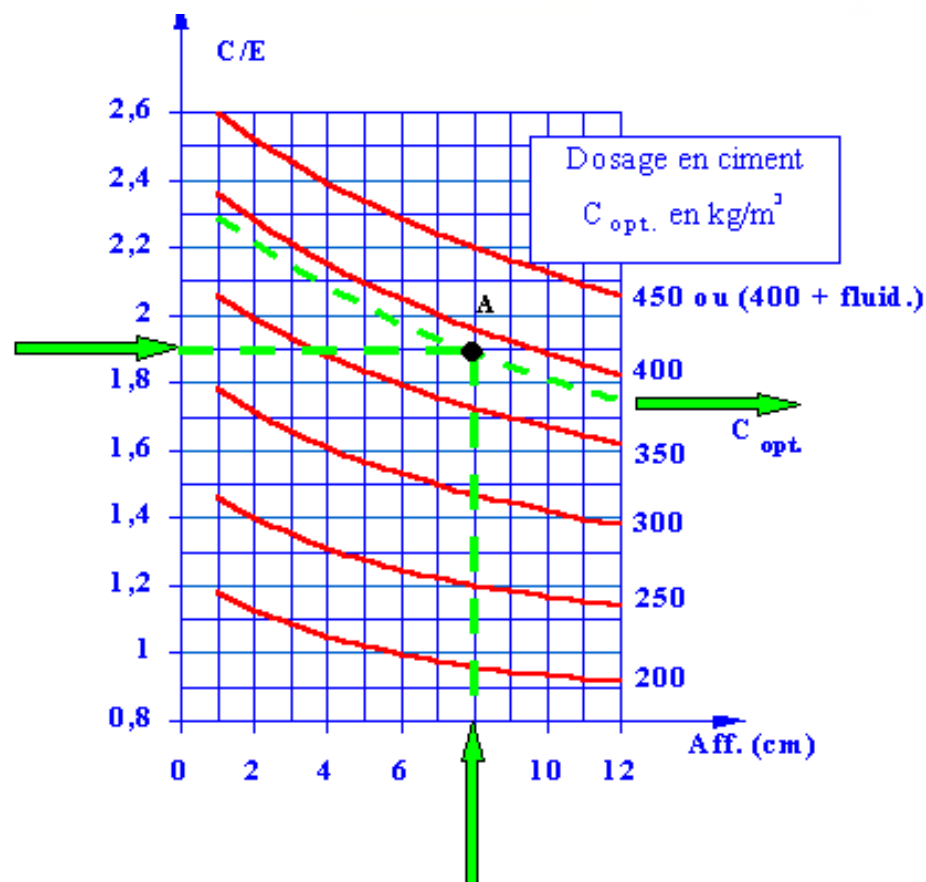
□ : $T^{\circ} > 10^{\circ} \text{C}$

■ : $5^{\circ} \text{C} \leq T \leq 10^{\circ} \text{C}$

Pour $T < 5^{\circ} \text{C}$, à défaut de protection isotherme, la cure est maintenue tant que $T^{\circ} < 5^{\circ} \text{C}$; ensuite se reporter au tableau

Facteurs affectant la résistance des bétons

- . Constituants du béton
- . Méthodes de préparation des éprouvettes
- . Malaxage
- . La cure des bétons



Variation du rapport E/C en fonction de l'affaissement

Caractéristique du béton durci

La résistance

• Résistance caractéristique à la compression f_{cj} :

- Le béton présente une relative bonne résistance à la compression. Les résistances obtenues dépendent de la composition.

- La résistance caractéristique à la compression du béton à **j jours** d'âge est déterminée à partir d'essais sur des éprouvettes normalisées, appelées 16×32, de forme cylindrique de hauteur 32cm et de diamètre 16cm (aire de 200cm²).

- Elle est définie comme la valeur de la résistance en dessous de laquelle on peut s'attendre à rencontrer 5% au plus de l'ensemble des ruptures des essais de compression.

- En pratique comme le nombre d'essais réalisés ne permet pas un traitement statistique suffisant, on adopte la relation simplifiée suivante :

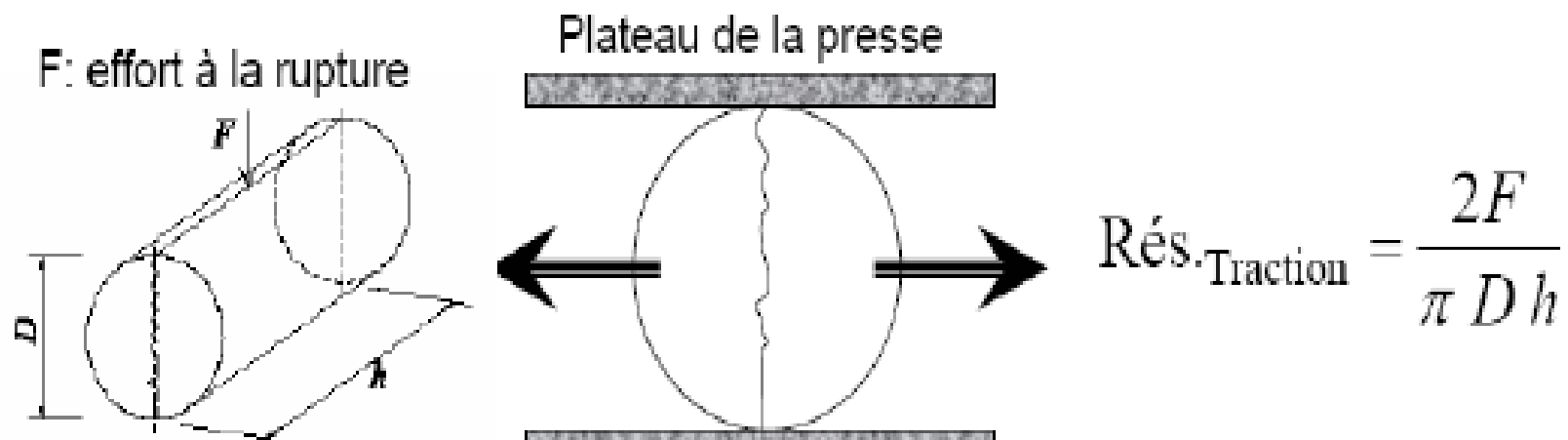
$$f_{cj} = \frac{\sigma_j}{1,15}$$

où σ_j est la valeur moyenne des résistances obtenues sur l'ensemble des essais réalisés.

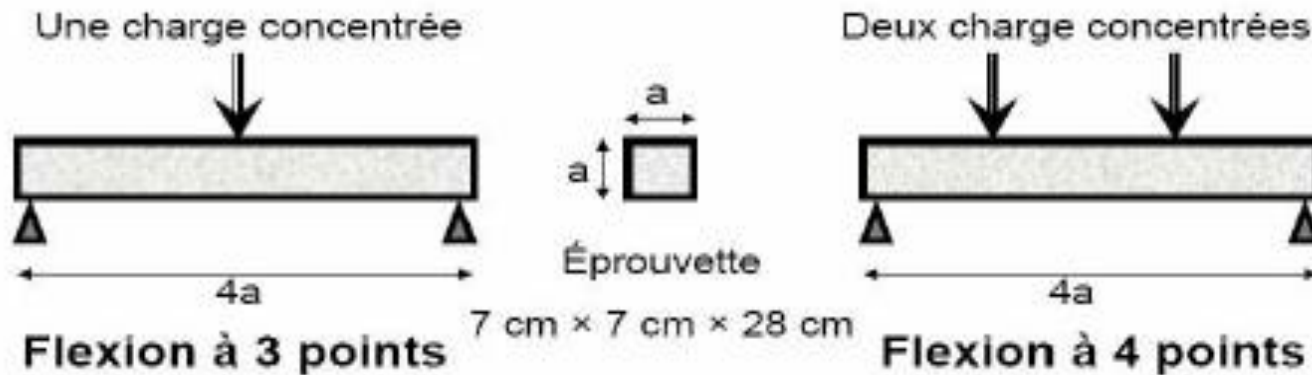
• Résistance caractéristique à la traction f_{tj} :

- Il est beaucoup plus difficile de faire des essais en traction.
- Les résistances à la traction peuvent être évaluées par :
 - * les essais de traction directe avec des éprouvettes collées.
 - * les essais de traction indirecte tels que l'essai par fendage (essai Brésilien) ou l'essai en flexion

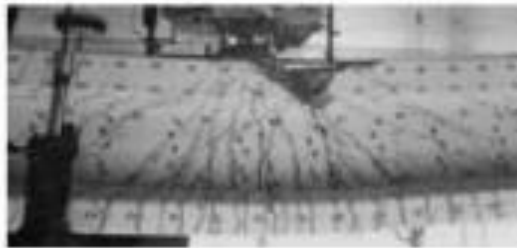
Principe d'un essai Brésilien



Principe d'un essai de flexion



Essais de rupture du béton



:

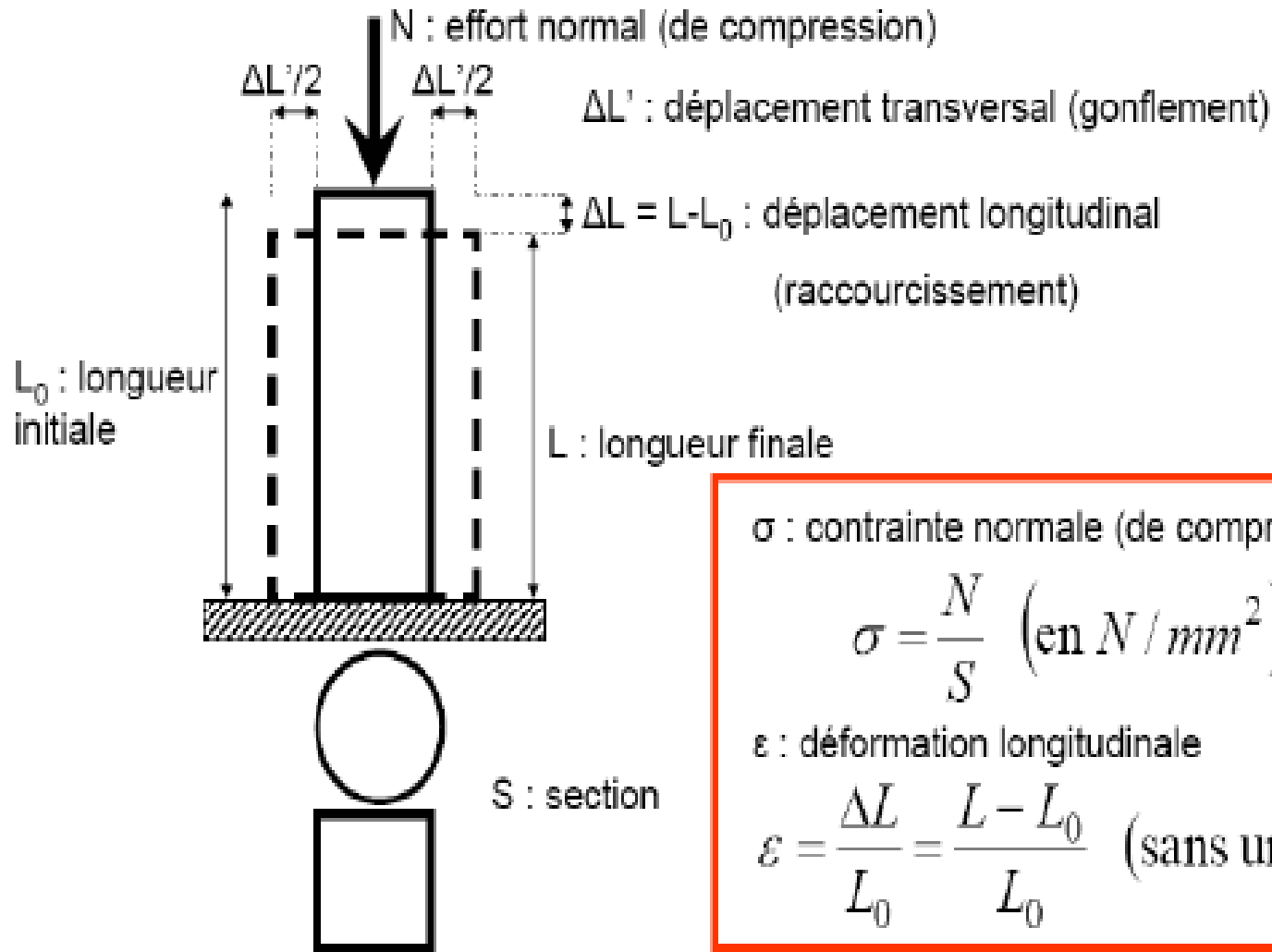


- On retiendra que la résistance à la traction du béton est beaucoup plus faible que celle à la compression.

$$\text{Rés. Traction} \approx 1/10 \times \text{Rés. Compression}$$

Comportement mécanique

- Étude expérimentale (essai de compression simple)



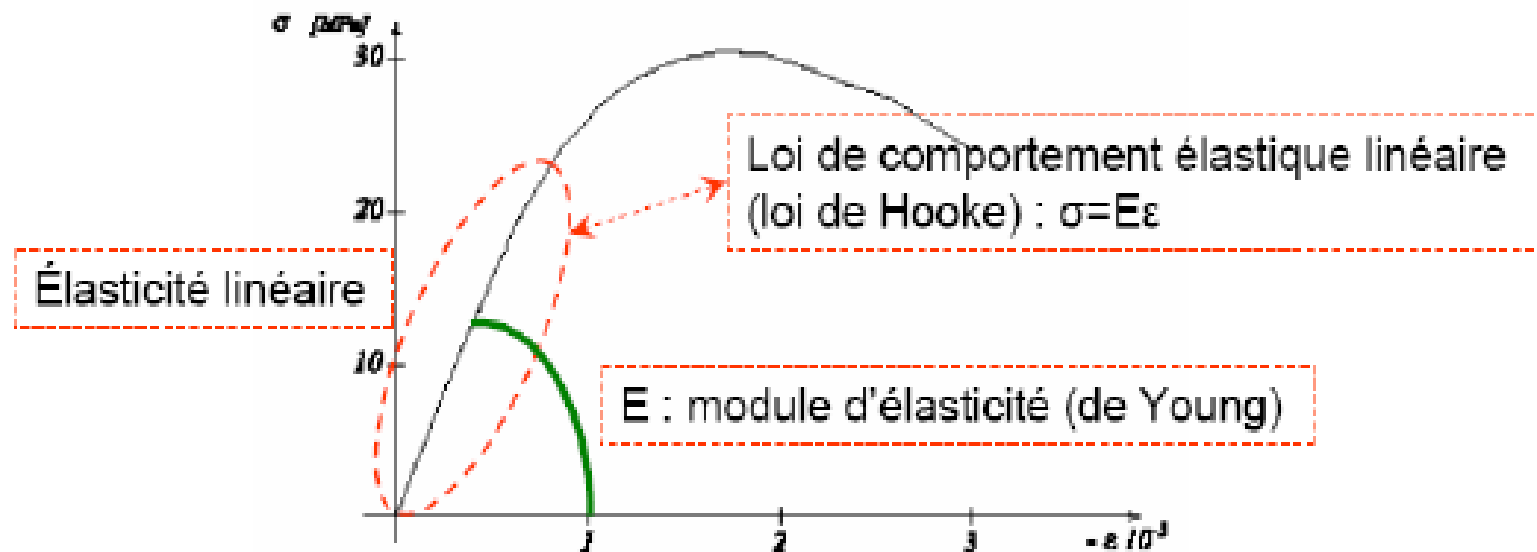
σ : contrainte normale (de compression)

$$\sigma = \frac{N}{S} \quad (\text{en } N / mm^2)$$

ε : déformation longitudinale

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (\text{sans unité})$$

Courbe contrainte-déformation d'un essai de compression



A partir de la courbe, on peut tirer les grandeurs suivantes :

- Le module de Young instantané $E_{ij} \approx 30\,000$ MPa
- La contrainte maximale $\sigma_{\max} \approx 20\sim 40$ MPa
- La déformation maximale à la rupture $\epsilon_{\max} \approx 2\text{‰} = 2 \times 10^{-3}$

- Le module de Young (de déformation longitudinale ou d'élasticité)
- On distingue le module de Young **instantané** E_{ij} et **différé** E_{vj}
- E_{ij} est utilisé pour les calculs sous chargement instantané de durée inférieure à 24 heures
- E_{vj} est utilisé pour des chargements de longue durée (cas courant). Il prend en compte les déformations de fluage du béton.

$$E_{ij} = 3E_{vj} \quad E_{vj} = 3700 f_{cj}^{1/3} \quad \text{si } f_{c28} \leq 60 \text{ MPa}$$

- Le coefficient de poisson

$$\nu = \frac{\text{Déformation transversale}}{\text{Déformation longitudinale}} \quad \text{Sa valeur varie entre 0.15 et 0.3}$$

Autres particularités du béton

• Le phénomène de retrait

- Après coulage, une pièce de béton conservée à l'air tend à se raccourcir.
- Ceci est dû à l'évaporation de l'eau non-liée avec le ciment et peut entraîner des déformations de l'ordre de 1.5×10^{-4} à 5×10^{-4} selon l'humidité de l'environnement.
- Les pièces de béton conservées dans l'eau subissent, au contraire, un gonflement.
- Le retrait commence dès le premier jour de vie de la pièce en béton et on observe que 80% du retrait est atteint au bout de deux ans.
- La principale conséquence du retrait est l'apparition de contraintes internes de traction, contraintes dont la valeur peut facilement dépasser la limite de fissuration.

- Estimation du retrait : $\Delta l = 3 \times 10^{-4} \times L$ (Δl : le raccourcissement et L : la longueur de l'élément)
- Exemple : le retrait d'une structure en B.A. de longueur 15m est de l'ordre de : $\Delta l = 3 \times 10^{-4} \times 1500 \text{ cm} = 0.45 \text{ cm}$
- Pour se protéger des désordres liés au retrait, on adoptera les dispositifs constructifs suivants :
 - maintenir les parements en ambiance humide après coulage
 - disposer des armatures de peaux de faible espacement pour bien répartir les fissures de retrait
 - éviter de raccorder des pièces de tailles très différentes
 - utiliser des adjuvants limitant les effets du retrait.

• La dilatation thermique

- Le coefficient de dilatation du béton vaut de 9×10^{-6} à 12×10^{-6} . Une valeur forfaitaire de 10^{-5} est adoptée pour le béton armé (la valeur du coefficient de dilatation de l'acier, qui est de l'ordre de 11×10^{-6} , est très proche de celle du béton).
- Une variation de température de 10°C induit une déformation de 10^{-4} → un élément de 10m de longueur verra son extrémité libre se déplacer de 1mm .
- Dans la pratique, les éléments ne sont pas libres, et les variations de température entraînent des contraintes internes de traction.
- Pour éviter des désordres, on placera régulièrement sur les éléments (dalle, voile de façade) ou bâtiments de grandes dimensions des **joints de dilatation** espacés de 25 à 50 mètres selon la région.
- Notons que ces joints de dilatation sont aussi un moyen de lutter contre les désordres dus au retrait.

FORMULATION DES BETONS

METHODE DE DREUX-GORISSE

Déterminer en fonction des critères de maniabilité et de résistance précisés :

▪ **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).**

critères de maniabilité et de résistance

- La maniabilité est caractérisée, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams:

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

critères de maniabilité et de résistance

Caractéristiques de la pièce à bétonner		D_{max}
\underline{e}_h	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$< e_h / 1,5$
\underline{e}_v	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$< e_v$
\underline{d}	Enrobages des armatures : Ambiance très agressive ≥ 5 cm Ambiance moyennement agressive ≥ 3 cm Ambiance peu agressive ≥ 3 cm Ambiance non agressive \geq cm	$< d$
\underline{r}	Rayon moyen du ferrailage	$< 1,4 r$ roulés $< 1,2 r$ concassés
\underline{h}_m	Hauteur ou épaisseur minimale	$< h_m / 5$

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.

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

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 en fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

critères de maniabilité et de résistance

- Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jour 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

$$\sigma_{28} = 1,15 \times f_{c28}$$

critères de maniabilité et de résistance

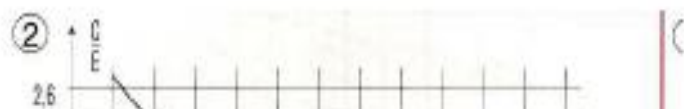
- Le choix du type de ciment est en fonction de la valeur de sa classe vraie σ_c et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc.). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé.

Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie σ_c	45 MPa	55 MPa	> 60 MPa

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

Facteurs affectant la résistance des bétons

- . Constituants du béton
- . Méthodes de préparation des éprouvettes
- . Malaxage
- . La cure des bétons



Variation du rapport E/C en fonction de l'effacement

- La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.
- La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs de C/E et de C.
- Lorsque la dimension maximale des granulats D_{max} est différente de 20 mm, une correction sur la quantité de l'eau est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée

Dimension maximale des granulats (D_{max} en mm)	5	8	12,5	20	31,5	50	80
Correction sur le dosage de l'eau(%)	+ 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. 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 $D_{max} < 20 \text{ mm}$ $X = D_{max} / 2$

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

Tracé de la droite de référence de Dreux

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

K_s et K_p étant des coefficients correctifs définis par :

K_s (*correction supplémentaire en fonction de la granularité du sable*)

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

K_p (*correction supplémentaire si le béton est pompable*)

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

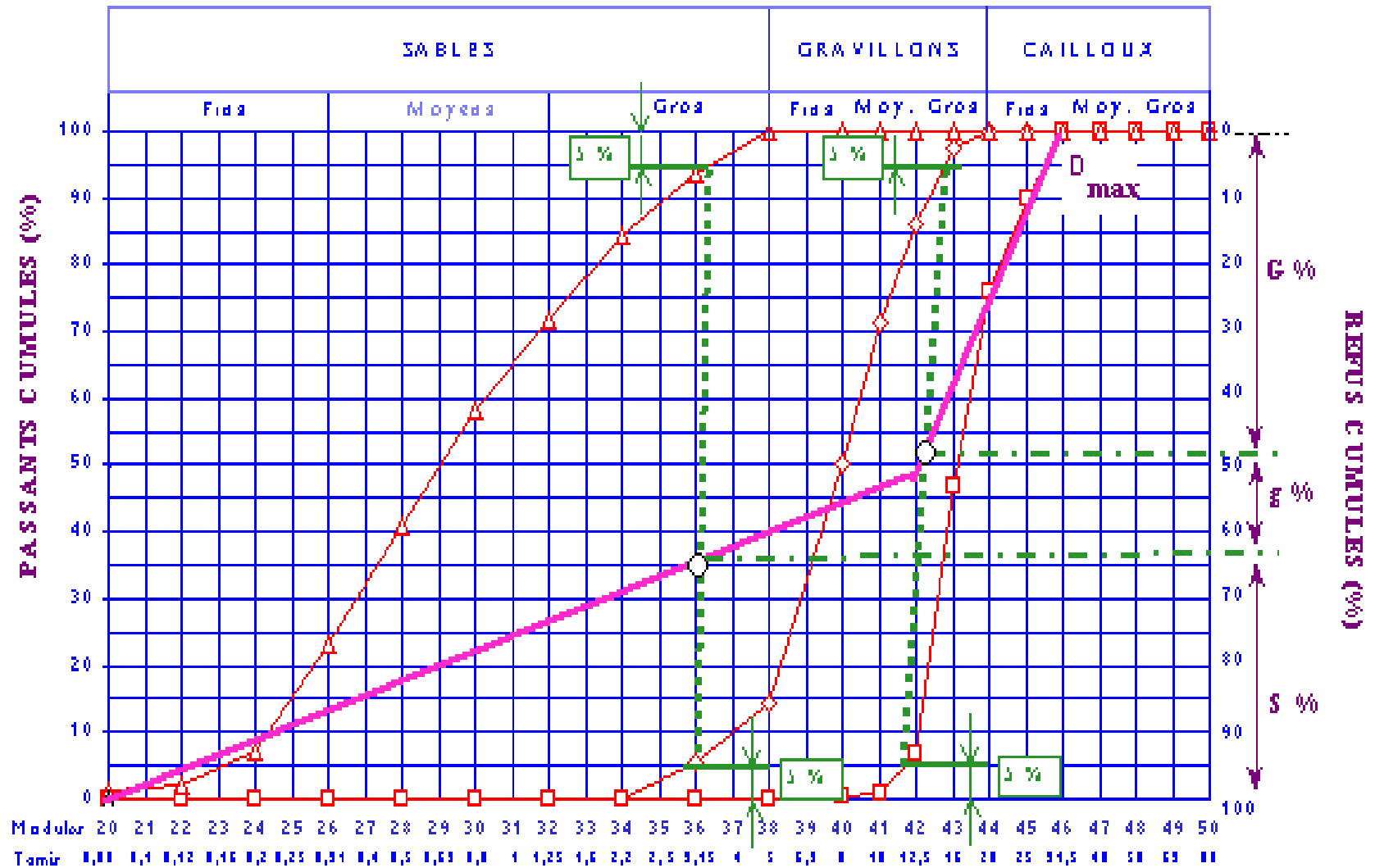
K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Conca ssé	Roulé	Conca ssé	Roulé	Concas sé
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

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 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.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE



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 m³ 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. 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 :

$$**C = C_0 + C_1 + C_2 + C_3.**$$

- La valeur de la compacité c du béton permet de déterminer le volume total absolu V de granulats intervenant dans la formulation du béton : $V = 1000c - V_c$ où V_c est le volume de ciment défini par $V_c = C / \gamma_{s(c)}$ où $\gamma_{s(c)}$ est la masse volumique absolue du ciment utilisé.

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-F1)	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 (kg/m³) on pourra apporter 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) :

$$V_s = V * S \%$$

$$S = V * S \% * \gamma_{s(S)}$$

$$V_g = V * g \%$$

$$g = V * g \% * \gamma_{s(g)}$$

$$V_G = V * G \%$$

$$G = V * G \% * \gamma_{s(G)}$$

Obtention de la formulation théorique de béton

La formulation théorique de béton recherchée est définie par les quantités d'eau E, de sable, de gravillon g et de gravier G. La masse totale d'un mètre cube de béton

$$**D_0=(E+C+S+g+G)**$$

est pour un béton courant comprise entre 2,3 t/m³ et 2,5 t/m³.

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

I-Composition de Béton

L'étude de la conception de béton consiste à rechercher les quantités à mélanger pour obtenir le béton le plus adapté à la partie d'ouvrage à réaliser.

Elle consiste la plupart du temps à:

- définir la dimension des granulats
- la résistance demandée
- la consistance souhaitée
- le choix du ciment
- la quantité d'eau...

Une formulation donnée est relevée d'une étude:

- Suivant la classe et le dosage en ciment on vise une résistance
- En fonction du type de granulat (roulés ou concassés) sera plus ou moins aisée.
- En fonction de la qualité d'eau, le béton sera plus maniable mais moins résistant.

→ Il faut conserver à l'esprit que les propositions retenues enfin d'étude doivent conduire à 1m³