

8- EXPÉRIENCES

8.1. Essai d'élément sur table -Flow test (ISO 9812)

Cet essai est particulièrement adapté au béton très fluide, fortement dosé en super plastifiant. Le diamètre du plus gros granulat ne doit pas dépasser 40 mm.

Principe de l'essai

La consistance est appréciée dans cet essai par l'étalement que connaît un cône de béton soumis à son propre poids et à une série de secousses. Plus l'étalement est grand et plus le béton est réputé fluide.

Matériel nécessaire et principe de l'essai

Le matériel nécessaire est décrit dans la norme ISO 9812 (norme expérimentale) et schématisé sur la figure 6.10.1. Il consiste en :

- un plateau carré de 70 cm de côté permettant d'imprimer des secousses au béton qui sera moulé dans son centre ; le plateau de bois est recouvert d'une feuille métallique de 2 mm d'épaisseur. Il est articulé sur un de ses côtés ;
- un moule tronconique de 20 cm de haut, de 20 cm de diamètre à sa base et de 13 cm à sa partie supérieure ;
- un pilon en bois de section carrée 4 cm × 4 cm.

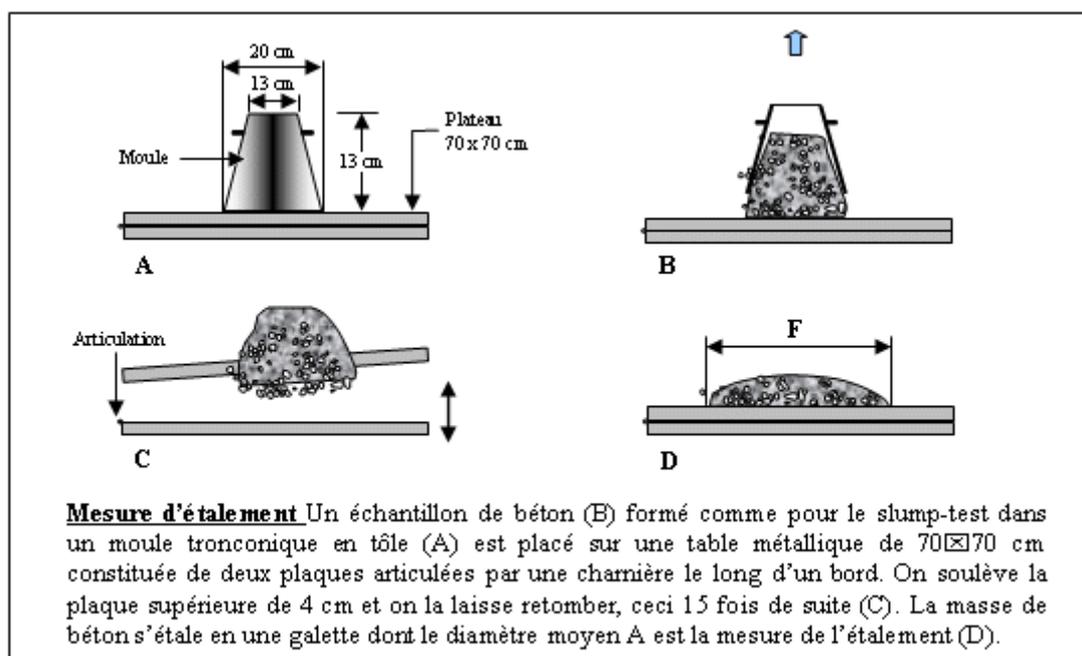


Fig. 6.10.1 : Essai d'étalement sur table

Conduite de l'essai

L'essai consiste à remplir avec le béton étudié le moule tronconique placé au centre du plateau carré. Le béton est mis en place en 2 couches et compacté par 10 coups au moyen du pilon. Après avoir arasé le béton avec une truelle, le moule est retiré verticalement. Le plateau est alors soulevé de 4 cm par un côté (le côté opposé étant maintenu par l'articulation) et relâché en chute libre 15 fois de suite en 30 secondes. Si le béton forme une galette approximativement circulaire et sans ségrégation, l'essai est valable.

La moyenne des mesures du diamètre de la galette dans deux directions parallèles au côté du plateau définit la consistance mesurée sur la table à secousse. Elle est arrondie au cm le plus proche.

Classe d'étalement sur table

La norme ENV 206 définit 4 classes d'étalement sur table :

Classe d'étalement	F1	F2	F3	F3
Diamètre en (cm)	≤34	35 à 41	42 à 48	49 à 60

8.2. Essai Vébé (ISO 4110)

Cet essai est particulièrement utile pour tester les bétons de faible ouvrabilité. La dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 40 mm.

Principe de l'essai

Dans cet essai, la consistance est définie par le temps que met un cône de béton à remplir un volume connu sous l'effet d'une vibration donnée. Plus ce temps est court et plus le béton sera considéré comme fluide.

Matériel nécessaire

L'appareillage est entièrement décrit dans la norme ISO 4110. Il est constitué d'un consistomètre schématisé sur la figure 6.8.1 et comportant les éléments suivants:

- un récipient cylindrique de 24 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur;
- un cône d'Abrams;
- un disque horizontal transparent de 23 cm de diamètre;

- une table vibrante équipée d'un vibreur fonctionnant à la fréquence de 3000 vibrations par minute et conférant à la table des mouvements d'une amplitude verticale de $\pm 0.5\text{mm}$ environ;
- une tige de piquage.

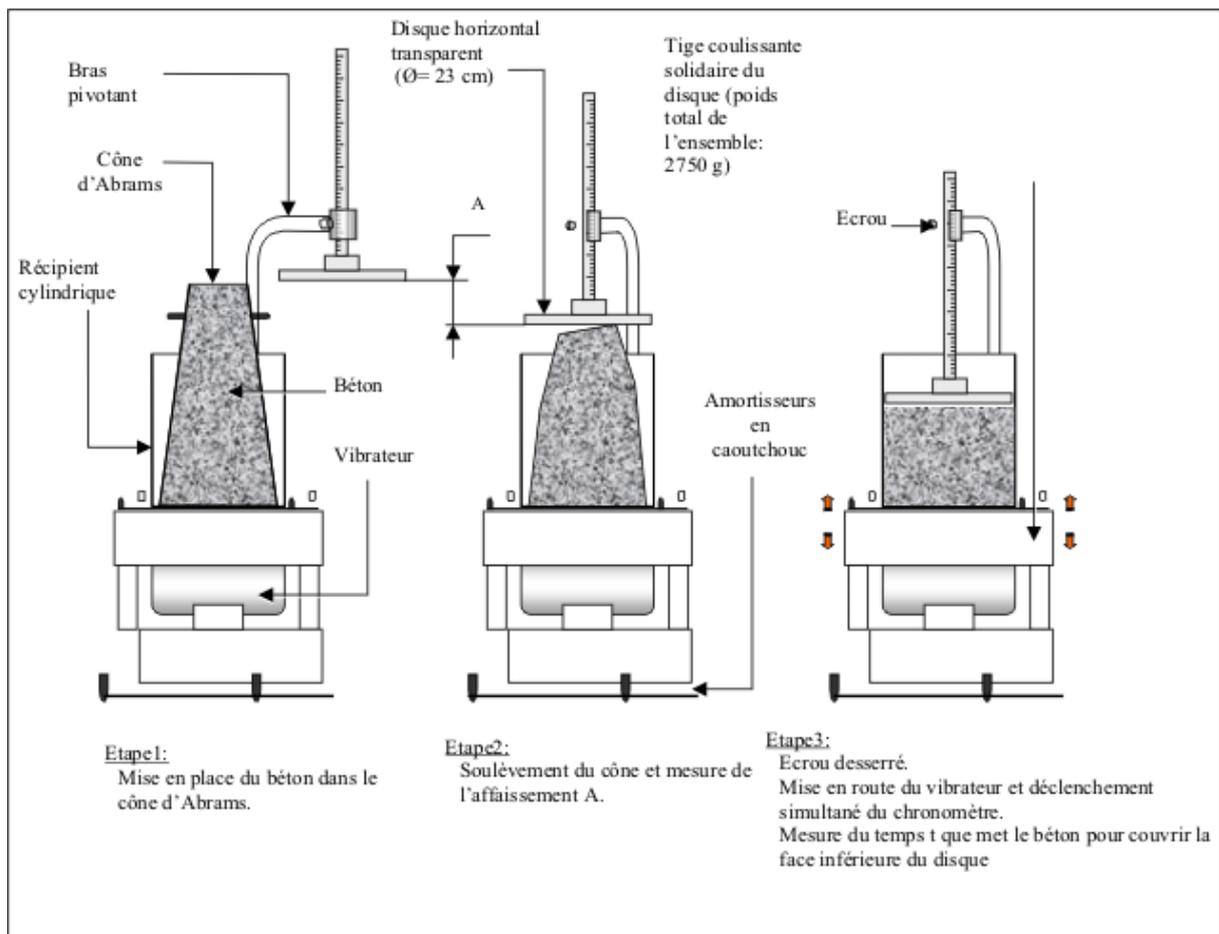


Fig.6.8.1: Essai Vébé

Conduite de l'essai

Le cône d'Abrams est fixé à l'intérieur du récipient cylindrique (cf. figure 6.8.1). Le béton est mis en place dans ce cône. Le cône d'Abrams est alors soulevé et, à ce stade de l'essai, il est donc possible de mesurer l'affaissement au cône comme indiqué précédemment. L'essai se poursuit ensuite par la mise en vibration de la table durant un temps t tel que la face supérieure du béton soit entièrement aplanie et au contact du disque transparent qui accompagne la descente du béton pendant le compactage.

Classe de consistance Vébé

Le temps t exprimé en secondes définit la consistance Vébé. 5 classes de consistance Vébé sont définies par la norme ENV 206 en fonction du temps t :

Classe Vébé	V0	V1	V2	V3	V4
Temps à l'essai Vébé	≥ 31 s	30 s à 21 s	20 s à 11 s	10 s à 5 s	≤ 4 s

8.3. Essais de consistance

Maniabilité des bétons

Avant d'être un matériau présentant les qualités mécaniques d'un solide, le béton a été mis en place dans des coffrages. Cette opération doit pouvoir se faire avec le maximum de facilité. D'abord, pour raccourcir le temps de travail nécessaire à la mise en place; ensuite, pour éviter de découvrir au moment du coffrage, des désordres difficilement réparables voire irréparables, conséquences de la faible maniabilité du matériau. On dira qu'un béton est d'autant plus maniable (ou ouvrable) qu'il est d'autant plus aisé à mettre en place dans les coffrages.

Objectif des essais de consistance

Le problème est de quantifier cette maniabilité (ou cette ouvrabilité) qui est une qualité, évolutive dans le temps, du béton avant prise. C'est le but des essais de consistance qui classent les bétons suivant une échelle de fluidité croissante: ferme, plastique, fluide. Ces essais sont très divers. Nous ne décrivons ici que ceux qui sont les plus utilisés.

Quatre des essais décrits ci-dessous sont cités par la norme ENV 206 qui définit pour chacun d'eux des classes de consistance numérotée de 0 ou 1 jusqu'à 4 (du béton le plus ferme au plus fluide). Les classes de consistance ne sont pas directement liées entre elles (la classe S3 de l'essai d'affaissement n'est pas forcément équivalente à la classe V3 de l'essai Vébé).

Essai d'affaissement au cône d'Abrams slump test (NF P 18-451)

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm.

Principe de l'essai

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

Matériel nécessaire

L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 et est schématisé sur la figure 6.7.1; il se compose de 4 éléments:

- un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure;
- une plaque d'appui
- une tige de piquage
- un portique de mesure.

Conduite de l'essai

La plaque d'appui est légèrement humidifiée et le moule légèrement huilé y est fixé. Le béton est introduit dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche (la tige doit pénétrer la couche immédiatement inférieure). Après avoir arasé en roulant la tige de piquage sur le bord supérieure du moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté A, mesuré grâce au portique et arrondi au centimètre le plus proche. La mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage.

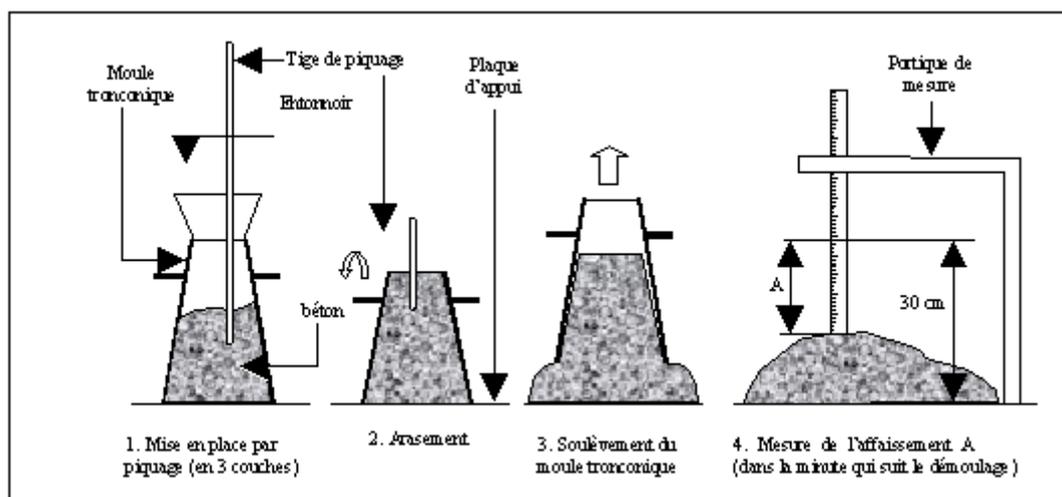


Fig. 6.7.1: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams

Classe d'affaissement

La norme ENV 206 définit 4 classes de consistance, en fonction de l'affaissement mesuré. Elles sont indiquées sur la figure 6.7.2. Sur cette figure, les rectangles blancs représentent la variation possible d'affaissement correspondant à la classe

considérée. Les classes sont notées S1, S2, S3, S4, et appelée classes d'affaissement. S rappelle ici l'initiale du nom de l'essai en anglais: slump test.

La norme NF P 18 – 305 définit les mêmes classes d'affaissement, mais les note F, P, TP et FI (Ferme, Plastique, Très Plastique et Fluide).

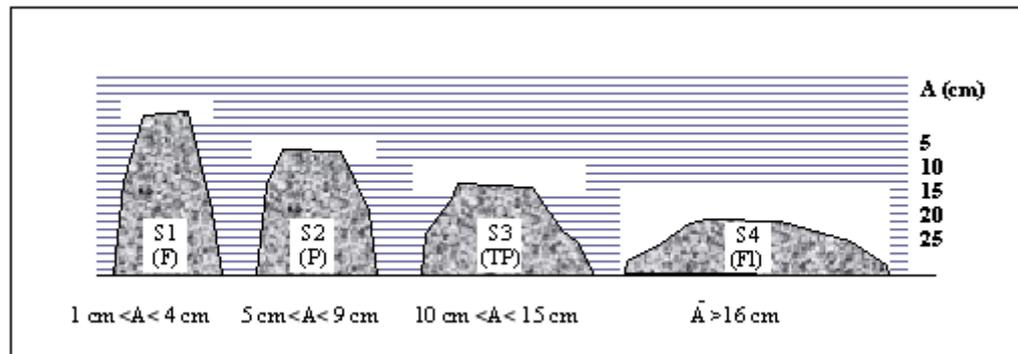


Fig. 6.7.2: Classes de consistance mesurées au cône d'Abrams

Limites d'information de l'essai d'affaissement

Grâce aux super plastifiants, on peut réaliser aujourd'hui des bétons très fluides dont l'affaissement au cône dépasse les 25 cm. Le cône ne permet pas de caractériser de manière satisfaisante de telles consistances. Dans ce cas, il serait préférable d'utiliser l'essai d'étalement sur table.

D'autre part, l'affaissement ne dit pas tout. Supposons deux bétons dont la fluidité serait obtenue pour le premier par un dosage en eau important et pour le second par un dosage élevé de super plastifiant. Ces deux bétons peuvent présenter un même affaissement de 25 cm au cône comme représenté sur la figure 6.7.3; mais le premier présentera une forte ségrégabilité, alors que le second, grâce à son faible dosage en eau, gardera sa cohésion tout en ayant une grande fluidité. On pourra dire de ce béton qu'il présente une très bonne maniabilité; ce qui ne sera pas le cas du premier qui ne pourra pas être mis en place correctement.

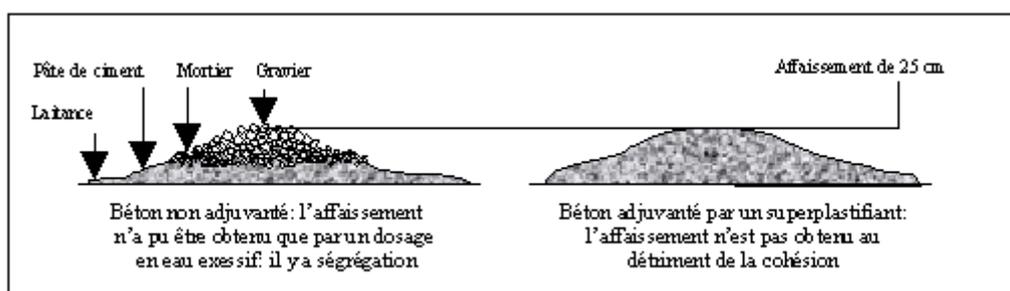


Fig.6.7.3:Exemple d'un même affaissement ne signifiant pas la même maniabilité

D'une manière générale, il paraît difficile d'obtenir un affaissement supérieur de 15 cm avec des bétons non adjuvantés sans rencontrer des problèmes de ségrégation.

D'autre part, il n'est pas possible d'attribuer le même comportement à un béton non adjuvanté présentant un affaissement au cône de 10 cm et un béton très dosé en super plastifiant présentant un affaissement équivalent. Le premier béton sera facile à mettre en place, on dira qu'il est maniable, alors que le béton adjuvanté sera très visqueux et d'un maniement difficile. C'est pourquoi, pour des bétons très fortement dosés en super plastifiant, il paraît souhaitable de travailler avec des affaissements au moins égaux à 15 cm.

De tout cela il ressort que la consistance mesurée par l'essai d'affaissement au cône ne suffit pas pour caractériser la maniabilité d'un béton et qu'il faut toujours préciser la manière dont cet affaissement a été obtenu: notamment le dosage super plastifiant.

8.4. Essai de compactage (ISO 4111)

Dans cet essai, la dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 40 mm.

Principe de l'essai

La consistance est appréciée ici par le rapport entre un volume donné de béton avant compactage et après compactage. Ce rapport est d'autant plus faible que le béton est plus fluide.

Matériel nécessaire

Il est écrit dans la norme ISO 4111. Il se compose

- d'un récipient parallélépipédique : 20 cm × 20cm × 40cm (cf. figure 6.9.1)
- d'une truelle rectangulaire.
- d'un moyen de compactage qui est une aiguille vibrante, de 40mm de diamètre maximal ou une table vibrante.

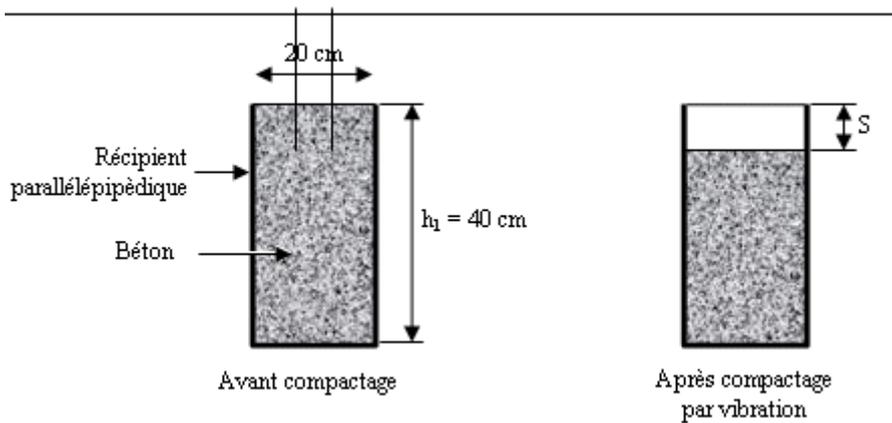


Fig.6.9.1: Mesure du degré de compactage

Conduite de l'essai

La mode opératoire est défini par la norme ISO 4111.

L'essai consiste à remplir le récipient de béton. Le remplissage s'effectue avec la truelle en laissant tomber le béton alternativement de chacun des quatre bords supérieurs du récipient. Après avoir été arasé, le béton est compacté, soit au moyen de l'aiguille vibrante, soit au moyen de la table vibrante, jusqu'à ce qu'on ne puisse plus déceler de diminution de volume. Soit s l'affaissement du béton dans le moule mesuré aux quatre coins du récipient.

Le degré de compactibilité est exprimé par le rapport :

$$\frac{h_1}{h_1 - s}$$

Classe de compactage

La norme ENV 206 définit 4 classes de compactage en fonction du degré de compactibilité :

Classe de compactage	CO	C1	C2	C3
$\frac{h_1}{h_1 - s}$	$\geq 1,46$	1,45 à 1,26	1,25 à 1,11	1,10 à 1,04

8.5. Résistance

8.5.1 Confection des éprouvettes

Dimension des moules (NFP 18-400)

Les résistances sont mesurées sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques dont les moules ont des caractéristiques définies par la norme NFP 18-400 pour laquelle les moules plus fréquemment utilisés sont les moules cylindriques. Leurs dimensions sont indiquées ci-dessous ; elles doivent être choisies en fonction du diamètre maximal des granulats (D) entrant dans la composition du béton.

Format (cm)	Dimension (mm)		Section (cm ²) par un plan		D (mm) des granulats
	Diamètre (d)	Hauteur (h)	Orthogonal	Diamétral	
Cylindre 11×22	112.8	220	100	248	≤16
Cylindre 16×32	159.6	320	200	511	≤40
Cylindre 25×50	252.5	500	500	1262	≤80

Tableau 6.5.1: Le format et la dimension des moules

Mise en place et conservation du béton pour les essais d'étude, de convenance ou de contrôle (NF P 18-404) La mise en place dans les moules a lieu par vibration ou par piquage, en fonction des résultats de l'essai d'affaissement et conformément aux normes NF P 18-421, 422, 423.

Les moules ayant été munis d'un dispositif s'opposant à l'évaporation, les éprouvettes doivent être conservées sans être déplacées pendant 24 h ±1 h dans un local maintenu à 20°C ±2°C. Après démoulage, les éprouvettes doivent être conservées à même température, dans l'eau ou dans une chambre humide (d'humidité relative supérieure ou égale à 95 %).

Essai d'information (NF P 18-405)

Le béton mis en place dans un ouvrage subit un autre mode de conservation que celui des éprouvettes conservées dans la chambre humide. La température et l'humidité relative de l'air sont généralement différentes. Les caractéristiques du béton d'ouvrage ne seront donc pas les mêmes que celles des éprouvettes réalisées lors des essais d'étude, de convenance ou de contrôle. Les essais d'information ont pour but d'évaluer les caractéristiques du béton utilisé pour la confection des éléments d'un ouvrage. Le prélèvement de l'échantillon de béton et sa conservation sont décrits par la norme NF

P 18-405. Le principe consiste à réaliser des éprouvettes en approchant au plus près les conditions de mise en place dans l'ouvrage. La conservation doit reproduire également les conditions de conservation de l'ouvrage : même date de démoulage, même exposition au vent, à la pluie ou au soleil, etc.

Les éprouvettes peuvent également être obtenues par carottage du béton durci : il s'agit de prélever sur l'ouvrage lui-même, avec un outil adapté (le carottier), un échantillon de béton ayant la forme d'une éprouvette (la carotte).

Le transport au laboratoire doit être effectué la veille du jour de l'essai.

8.5.2 Essais de compression (NF P 18-406)

Objectif de l'essai

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

Principe de l'essai

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

Equipement nécessaire

- Une machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et répondant aux prescriptions des normes NF P 18-411 et NF P 18-412.
- Un moyen pour rectifier les extrémités des éprouvettes : surfaçage au soufre, ou disque diamanté.

Rectification des extrémités des éprouvettes

Conformément à la norme NF P 18-406, l'essai de compression est effectué sur des éprouvettes cylindriques dont les extrémités ont été préalablement rectifiées. En effet, si les éprouvettes étaient placées telles quelles sur les plateaux de la presse, on ne serait pas assuré de la planéité des surfaces au contact et de leur perpendicularité aux génératrices de l'éprouvette. La rectification consiste donc à rendre ces surfaces planes et perpendiculaires aux génératrices de l'éprouvette. Pour parvenir à ce résultat deux méthodes peuvent être employées : le surfaçage au soufre et la rectification par usinage des extrémités.

Le surfaçage au soufre est décrit dans la norme NF P 18-416. Il consiste à munir chaque extrémité de l'éprouvette d'une galette à base de soufre respectant les deux exigences : planéité et perpendicularité aux génératrices. La planéité est assurée de la façon suivante : le mélange soufre, porté à une température de $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, est liquéfié et versé sur une platine dont le fond a été rectifié (figure 6.5.1). La perpendicularité est obtenue grâce à un dispositif de guidage qui maintient les génératrices de l'éprouvette perpendiculaires au fond rectifié du moule.

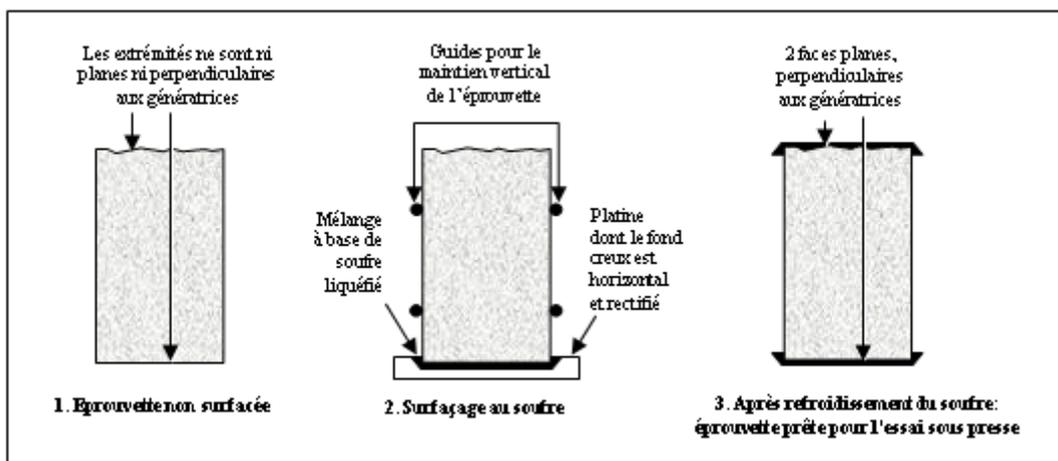


Fig. 6.5.1: Principe du surfaçage au soufre

L'éprouvette maintenue par le dispositif de guidage est descendue sur le soufre liquéfié. Quand, après refroidissement, le soufre s'est solidifié, l'éprouvette (à laquelle adhère alors la galette de soufre) est désolidarisée de la platine et il a procédé au surfaçage de la deuxième extrémité. Pour les éprouvettes dont la résistance à la compression ne dépasse pas 50Mpa, le surfaçage peut se faire avec un mélange de 60% (en masse) de fleur de soufre et 40% de sable fin de granularité inférieure à 0,5mm.

Au-delà, et jusqu'à 80 Mpa, il faudra utiliser un mélange soufré spécialement conçu pour les Bétons Hautes Performances.

Pour des bétons dont la résistance est supérieure, la rectification exigera des moyens matériels plus importants : une rectifieuse équipée d'une meule diamantée. L'éprouvette est alors usinée de manière à rendre les extrémités parfaitement perpendiculaires aux génératrices.

Conduite de l'essai de rupture

L'éprouvette, une fois rectifiée, doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. Pour des éprouvettes 11×22 ou 16×32, cela signifie

une précision millimétrique qui ne pourra pas être obtenue sans l'emploi d'un gabarit de centrage prenant appui sur l'éprouvette (et non sur le produit de surfacage), comme indiqué sur la figure 6.5.2.

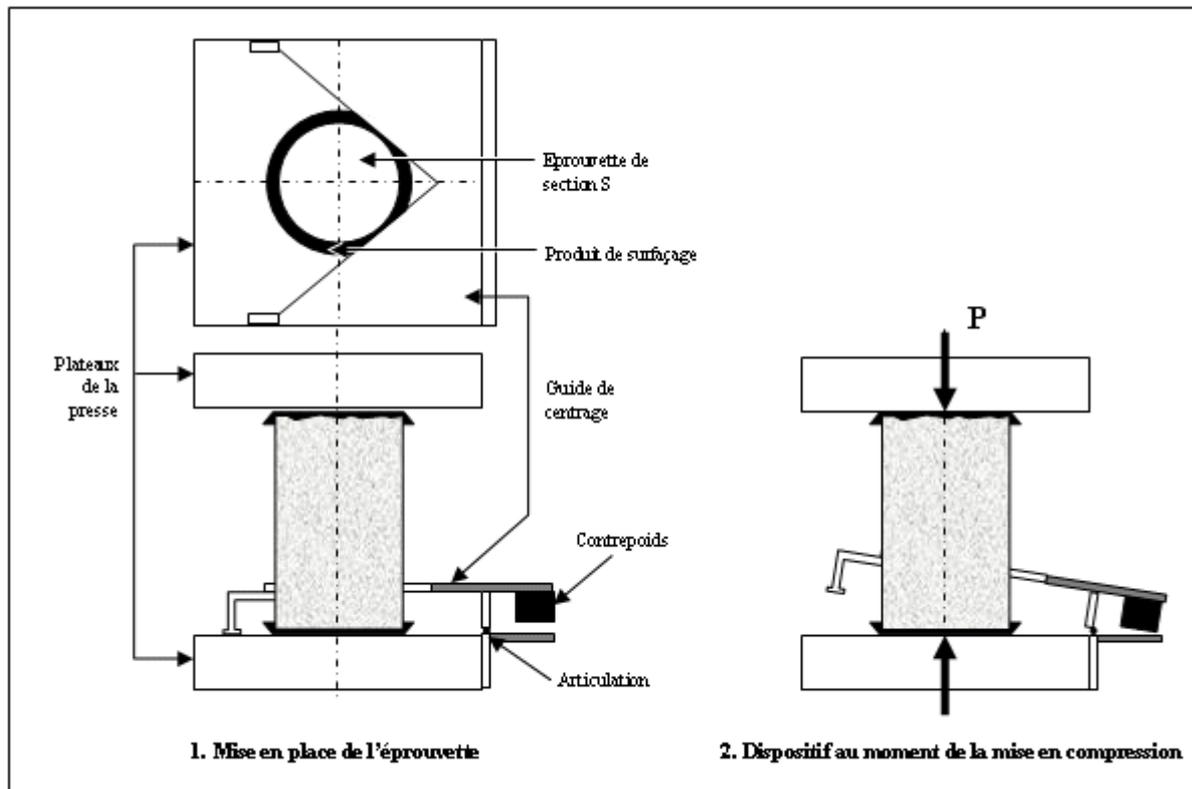


Fig. 6.5.2: Exemple de dispositif de centrage de l'éprouvette sur la presse

La mise en charge doit être effectuée à raison de 0,5 Mpa/s avec une tolérance de 0,2 MPa/s. Pour des éprouvettes 11×12 cela signifie une montée en charge de 5KN/s±2KN/s et pour des éprouvettes 16 × 32 de 10 KN/s ±4 KN/s.

La charge de rupture, P, est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. Soit S la section orthogonale de l'éprouvette ; la résistance, F_c , est exprimée en Mpa à 0,5Mpa près et a pour expression :

$$f_c = \frac{P}{S}$$

Dans la relation ci-dessus F_c est directement obtenue en Mpa si P est exprimée en méga newton (MN) et S en m²

Particularités de la rupture en compression

Pour des résistances supérieures à 60Mpa, et suivantes la presse utilisée, la rupture peut être brutale et il est bon d'équiper la presse d'un système de protection pour se

protéger des éclats éventuels. En général l'éprouvette rompt de la manière indiquée sur la figure 6.5.3

Dans ce type de rupture, deux cônes apparaissent aux extrémités de l'éprouvette rompue. En effet, la pression exercée par les plateaux de la presse à la jonction avec l'éprouvette gêne les déformations transversales dans cette zone. Dans la partie centrale, la formation transversale est libre ; elle résulte des contraintes de traction (symbolisées par les flèches notées t sur la figure 6.5.3 a) perpendiculaires à la compression (et à la fissuration). Ce sont ces contraintes de traction qui aboutissent dans la zone centrale à la fissuration longitudinale de l'éprouvette, puis à sa ruine. Les zones extrêmes, protégées par le freinage créé par les plateaux, ne sont pas détruites (figure 6.5.3 b).

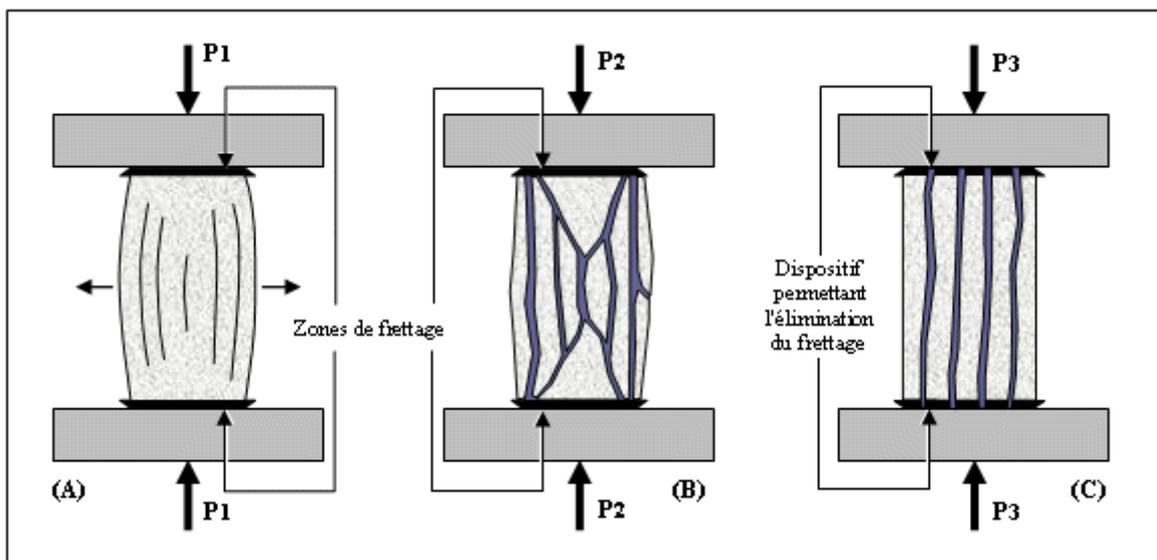


Fig. 6.5.3: Mode de rupture des éprouvettes cylindriques en compression

Le freinage peut être limité en graissant les zones de jonction plateaux/éprouvettes ou en y interposant des appuis en téflon. La rupture est alors du type de celle indiquée sur la figure 6.5.3 c. Elle se produit pour une charge (P_3) habituellement plus faible que celle obtenue dans le cas général (P_2) : en protégeant ses extrémités de l'éclatement, le freinage permet à l'éprouvette d'encaisser des chargements légèrement plus importants.

8.6. Mesure la résistance à la traction (NF P 18-408)

Objectif de l'essai

Le but de l'essai est de connaître la résistance à la traction du béton de l'éprouvette cylindrique.

Principe de l'essai

On procède généralement par essai de fendage sur éprouvette cylindrique conformément à la norme NF P 18-408. Dans cet essai, on applique à l'éprouvette un effort de compression induit des contraintes de traction dans le plan passant par ces deux génératrices. La rupture, due à ces contraintes de traction, se produit dans ce plan (figure 6.6.1). Le calcul permet de définir la contrainte de traction correspondant à cette rupture.

Equipement nécessaire

- Une presse de force appropriée conforme aux normes NF P 18-411 et NF P 18-412.
- Des bandes de chargement en contreplaqué neuf ayant une section dont les dimensions sont indiquées sur la figure 6.6.1 et une longueur au moins égale à celle de l'éprouvette.
- Des moules cylindriques, pour la confection des éprouvettes, qui ne doivent pas être en carton car de tels moules ne garantissent pas avec suffisamment de précision la rectitude des génératrices.

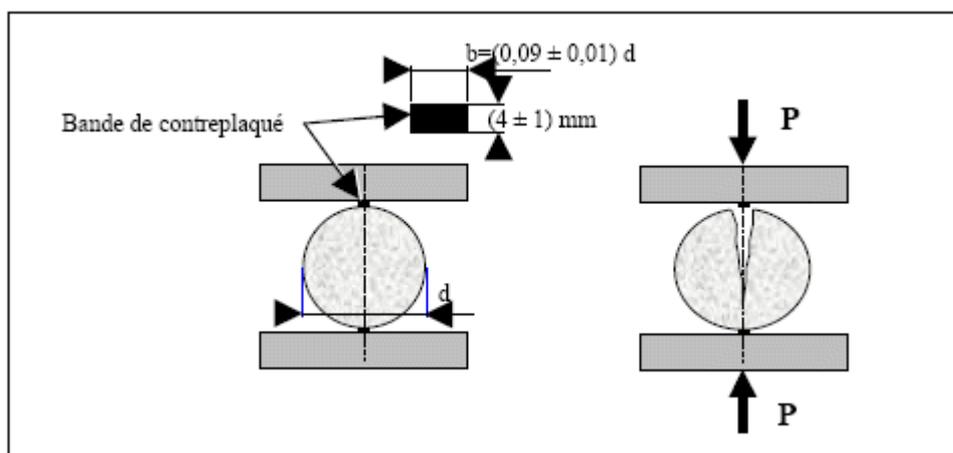


Fig. 6.6.1: Dispositif pour l'essai de rupture par fendage.

Conduite de l'essai

L'éprouvette est placée entre les deux plateaux de la presse comme indiquée sur la figure 6.6.1, le contact entre les plateaux et l'éprouvette se faisant par l'intermédiaire des deux bandes de contreplaqué. Le centrage de l'éprouvette doit se faire à 0.5mm près à l'aide d'un gabarit de centrage.

La vitesse de chargement doit être constante pendant toute la durée de l'essai et égale à 1,94 kN/s±0,39kN/s pour les cylindres 11×22 et 4,01 kN/s±0,80 kN/s pour les cylindres 16×32 (ce qui correspond à un accroissement de la contrainte de traction de 0,05MPa/s avec une tolérance de +20%). Si h est la hauteur de l'éprouvette, d son diamètre et P la charge appliquée, la contrainte de rupture vaut :

$$f_t = 0,637 \frac{P}{dh}$$

Dans la relation ci-dessus f_t est directement obtenue en MPa si P est exprimée en méga newtons (MN) et d et h en mètres (m). Cette contrainte doit être exprimée à 0,1 MPa près.