

LA PRATIQUE DES ESSAIS DESTRUCTIFS : L'ESSAI D'ÉCRASEMENT DU BÉTON

F. Chelali & B. Redjel*

Laboratoire de génie civil, Département de génie civil Université de Annaba, BP 12, 23000 Annaba, Algérie. Telefax : 0.38 87 11 12 Email : bredjel@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Les conditions de fabrication et la géométrie des éprouvettes conjuguées à la conduite de l'essai de compression lui-même réalisé sur les bétons ont une influence sur les résultats de mesure de la résistance à l'écrasement de ces matériaux. Cependant, en respectant scrupuleusement les règles opératoires préconisées et en prenant toutes les précautions édictées, cet essai permet d'effectuer des mesures rigoureuses et d'obtenir des données numériques satisfaisantes pour juger de la qualité des matériaux granulaires.

Mots Clés

Ecrasement du béton - cube - prisme - cylindre - coefficient de conversion

1. INTRODUCTION

L'expérience a toujours montré à l'homme qui a construit des habitations depuis qu'il existe que certains matériaux sont plus résistants que d'autres. Il a alors compris qu'il fallait caractériser ces matériaux pour juger leur qualité et prévoir leur comportement.

L'étude des matériaux techniques comme toute autre étude scientifique dépend en définitive de la recherche expérimentale. Les expériences sur les matériaux se font à divers titres. De première importance sont celles dans lesquelles on étudie les lois physiques qui régissent le comportement mécanique des matériaux. Comme il faut du temps pour établir des lois physiques valables et que la demande en matière de technique est immédiate, un second type d'expérience est d'une importance presque égale. Ce sont celles où l'on reproduit d'aussi près que possible les conditions prévues dans l'emploi d'un matériau particulier mais sous une forme simplifiée et normalisée et où l'on enregistre les résultats. Dans toutes les constructions il faut savoir si le matériau a une résistance mécanique suffisante, s'il est capable de supporter au cours du temps les diverses agressions qu'il est amené à subir : température, corrosion... Il est donc nécessaire de réunir pour un matériau donné les éléments qui permettent de prévoir son comportement ultérieur. Mais pour ce faire, il est indispensable d'avoir une connaissance aussi exacte que possible des conditions d'emploi de ce matériau. Il est alors possible pour un usage donné de choisir tel ou tel matériau.

Il existe d'autres expériences fréquemment utilisées dans l'industrie. Ce sont les essais de contrôle qui ont pour objectifs d'obtenir des renseignements courants sur la qualité d'un produit. La précision passe habituellement au dernier plan dans ces investigations mais la rapidité est de première importance.

Une grande quantité des travaux expérimentaux sur les essais consiste à essayer leurs qualités ou leur réponse à certaines conditions de sollicitations. L'usage s'est établi de désigner toutes les expériences faites sur les matériaux sous le nom « d'essais de matériaux ». Ces essais ont un rôle de plus en plus important dans l'étude et l'exploitation rationnelle des constructions. Ils ont pour but de déterminer en premier lieu les valeurs numériques des paramètres qui caractérisent l'ouvrage du point de vue mécanique et physique et de prévoir le comportement de la matière à l'usage. Ils doivent donc imiter le mieux possible les conditions auxquelles sera soumis l'ouvrage. Ainsi chaque échantillon de matière ou

chaque fabrication a sa propre personnalité ce qui recommande de lui établir une carte d'identité signalétique en vue de sa future exploitation. Ainsi la connaissance des propriétés d'emploi des matériaux composites à matrice cimentaire tels que les bétons, les bétons de fibres, les bétons de sable et l'utilisation au mieux de leurs performances en tant que matériaux de structures se fondent inévitablement sur des essais mécaniques de caractérisation au cours desquels il est nécessaire de déterminer un certain nombre de grandeurs rhéologiques. Ceci exige souvent la connaissance de l'état complet de déformation local ou global des surfaces des éprouvettes ou des structures testées. Le caractère hétérogène et souvent anisotrope de ces matériaux résultant du fait qu'il s'agit le plus souvent de structures renforcées, composées de plusieurs éléments entraîne des effets qu'il est difficile de prévoir dès la conception ou de maîtriser au cours de la vie de la structure.

En pratique il s'avère donc indispensable de disposer de techniques de mesures et de méthodologies expérimentales de caractérisation des propriétés mécaniques qui soient fiables et adaptées suivant les besoins. Lorsqu'un ingénieur ou un chercheur a à mettre en œuvre un essai mécanique qu'il n'a jamais pratiqué, plusieurs questions se posent dont l'une des plus importantes concerne la mesure des déplacements et des déformations en se référant aux informations données par les normes. Mais il arrive souvent que ces informations ne soient pas adaptées ou bien que le matériel nécessaire ne soit pas disponible. Il faut alors mettre en place sa propre configuration d'extensométrie. Ceci n'est toujours pas simple surtout lorsque ces essais concernent des matériaux hétérogènes ce qui complique singulièrement la mise en œuvre et de nombreux compromis sont alors à trouver.

Choisir un essai revient donc à se fixer un but à atteindre :

- détermination d'une constante ou d'une série de paramètres destinés à faire un calcul;
- rechercher un classement entre plusieurs matières de même espèce afin de choisir la meilleure qualité ou d'éliminer la mauvaise;
- recherche d'un comportement futur sous des influences extérieures naturelles ou artificielles. On cherche à imiter le mieux possible le traitement que la matière va être amené à subir.

Dans cette étude nous n'aborderons qu'une faible partie des problèmes qui se posent à l'ingénieur : la caractérisation des propriétés mécaniques statiques en compression des bétons.

En effet, les études sur les bétons font en général appel aux essais d'écrasement sur des éprouvettes permettant d'identifier sérieusement et correctement les caractéristiques mécaniques de ces matériaux. L'essai de résistance à la compression est évidemment le plus connu des essais mécaniques et qui demeure dans l'état actuel des connaissances et de la technologie en la matière nécessaire et le plus significatif pour caractériser la qualité générale du béton. Il s'avère alors nécessaire de mettre au point des techniques expérimentales qui mettent en œuvre des géométries d'éprouvettes proches des structures réelles et qui traduisent les véritables conditions de fonctionnement des structures. Quand il est réalisé consciencieusement cet essai donne des résultats très intéressants de la qualité du béton en général mais il ne faut pas lui accorder trop de signification physique en pensant notamment que l'on obtienne la vraie résistance à la compression car les résultats sont influencés par les modes de préparation et les sollicitations des éprouvettes. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'il est dénommé « essai d'écrasement » [1].

2. ESSAI DE COMPRESSION SUR LES BÉTONS

L'essai de compression ou d'écrasement sur le béton permet de mesurer à l'aide du relevé simultané des courbes contrainte-déformation longitudinale et contrainte- déformation transversale, la contrainte à la rupture ou la résistance du béton calculée au maximum de la courbe, le module élastique calculé par la pente de la tangente à l'origine de la courbe contrainte-déformation longitudinale, la déformation à la rupture correspondante à la contrainte à la rupture et le coefficient de Poisson rapport de la déformation transversale sur la déformation longitudinale dans le domaine élastique [2]. Les figures 1 et 2 donnent un exemple précis et clair de mesure de ces caractéristiques [3].

La résistance à la compression du béton est une des propriétés les plus remarquables de ce matériau utilisé dans le domaine de la construction. Elle constitue par conséquent un critère très couramment utilisé pour définir des bases de dimensionnement de structures, mettre au point des formules de composition tout en développant des recherches pour l'amélioration des caractéristiques du matériau, contrôler les fabrications.

La définition de toutes les conditions de mode opératoire doit garantir la qualité de l'essai ce qui a amené la plupart des pays à traduire ce fait par la rédaction de normes qui devraient continuer à évoluer en fonction des résultats des techniques et des recherches [3]. La normalisation des conditions expérimentales devrait en principe éliminer toutes les causes d'erreur sur les résultats de mesure. Le tableau 1 résume les principales normes relatives à la mesure de la résistance à la compression du béton établies par les pays industrialisés.

Essai	NF France	BS Royaume Uni	ASTM USA	DIN Allemagne	ISO	RILEM
R comp.	P 18 406	1881/4 70	C 39-79	1048/1	DIS 4012	4D nov.75

Tableau-1 Normes relatives aux essais de la résistance à la compression du béton

La charge de compression présente des avantages sur la charge en traction dans certains genres de recherches. Elle offre aussi des difficultés nouvelles. Ainsi sur les matériaux fragiles tels que les bétons en particulier il est plus facile d'exercer une charge de compression qu'une charge de traction. Le problème de fixer les matériaux fragiles pour la traction s'avère très délicat. D'autre part si on utilise pour obtenir un serrage automatique des mors de serrage à blocs de coincement, la pression transversale de serrage devient importante et a tendance à provoquer une rupture par

désagrégation dans les mors. Les difficultés jointes à leur faiblesse en traction rendent les matériaux fragiles moins commodes pour les utilisateurs en traction qu'en compression.

Une force axiale de compression est facile à exercer par l'intermédiaire de deux plaques planes, parallèles, agissant à chaque extrémité d'une éprouvette prismatique, cubique ou cylindrique. En conséquence, l'essai d'écrasement s'emploie couramment dans l'étude des matériaux granulaires poreux (bétons...), cellulaires (bois) ou fragiles (verre). Cet essai est donc de type classique et sa conduite est semblable à celle de l'essai de traction correspondant. Les éprouvettes sont généralement des cylindres ou des prismes droits, lisses dont les extrémités sont aussi planes et parallèles que possible afin d'éviter les charges excentriques. Le moyen le plus simple de les planer est de les garnir d'une mince couche d'enduit. L'enduit durci devrait être aussi résistant que le béton.

Si la finition des éprouvettes de béton frais a été correcte, le surfacage suffit. Dans le cas contraire, il est nécessaire de rectifier l'extrémité supérieure des éprouvettes par sciage [1-2]. Le surfacage permet d'obtenir une planéité parfaite des faces de chargement et une orthogonalité de celles-ci par rapport à la hauteur de l'éprouvette. Le surfacage à 65 parties de soufre normalisé et 35 parties de sable fin < 0.5 mm reste l'une des techniques la plus utilisée dans les laboratoires de recherche ou au niveau des chantiers. Il est souvent conseillé comme rapporté par la littérature scientifique et technique d'ajouter 2% de noir de fumée afin de permettre une meilleure homogénéité du mélange, d'éviter le faïençage de la galette de surfacage et de diminuer le frottement sur les plateaux de la presse. La dureté du produit de surfacage devra être au moins égale à celle du béton testé. De nombreux essais réalisés sur la question ont montré que dans la plupart des cas la résistance à la compression du mélange est supérieure à celle du béton.

Avant de placer l'éprouvette dans la machine il faut mesurer ses dimensions suivant le mode opératoire normalisé. L'éprouvette doit être bien centrée entre les plateaux de la presse. Elle doit avoir un axe de symétrie parallèle à l'effort appliqué et des faces terminales planes et normales à cet axe. Ainsi un plus grand soin est nécessaire afin de faire coïncider son axe avec celui de la machine ce qui permet d'éviter l'apparition de tout effort de flexion parasite. La mise en charge doit s'effectuer d'une manière lente, monotone et continue à une vitesse moyenne de 0.5 ± 0.2 MPa/seconde [5] ou bien de 2 mm/min pour le déplacement d'une traverse [2].

Il est toujours nécessaire de mesurer la déformation en deux ou plusieurs points autour de l'éprouvette. Une fois que celle-ci est convenablement alignée, la charge est alors exercée. La conduite de l'essai est presque identique à celle de traction. Comme en traction, le maintien d'une vitesse constante de déformation est souvent important.

3. GÉOMÉTRIE DES ÉPROUVETTES

La grande expérience et la bonne maîtrise acquises maintenant dans le domaine de la fabrication des éprouvettes en béton montrent qu'en assurant à une série d'éprouvettes d'une même gâchée des dimensions, un mode de fabrication, ainsi que des conditions de conservation et d'essais identiques, il est possible de déterminer avec justesse et précision la « vraie » ou « véritable » valeur des caractéristiques mécaniques des matériaux à base de ciment.

Pour les essais d'écrasement du béton, trois géométries d'éprouvettes sont généralement utilisées : le cube, le prisme et le cylindre (figure 3).

3.1. CUBE

Pendant longtemps la résistance à la compression du béton a été mesurée sur cube. L'essai sur cube est très sensible à l'interposition de cartons entre le cube et les plateaux de la presse et au défaut de la planéité des faces chargées. L'effet de ces deux facteurs est de diminuer la résistance apparente.

Lors d'un essai sur cube en béton chargé entre les plateaux d'une presse hydraulique, on observe une rupture selon des plans obliques avec formation de deux pyramides tronquées et opposées par la petite base. Ce mode de rupture est conditionnée par les forces de frottement qui se développent entre les faces de l'éprouvette et les plateaux de la presse. Ces forces de frottement sont dirigées à l'intérieur du cube et freinent l'évolution des déformations transversales du béton. L'influence de ces forces de frottement diminue avec la distance (hauteur) et c'est pour cette raison qu'après destruction le cube reçoit la forme de deux pyramides tronquées et réunies par leur petite base (figure 4).

Si l'on graisse les surfaces en contact avec les plateaux de la presse, les déformations transversales se développent librement et la rupture du cube se produit selon des plans sensiblement parallèles à la direction de l'effort de compression avec formation de prismes droits verticaux en même temps la charge de rupture diminue très considérablement et varie entre les 50/100 et 60/100 de la charge obtenue dans le cas précédent. La résistance des éprouvettes cubiques confectionnées d'un seul et même béton dépend de leurs dimensions. De nombreux essais ont montrés que la résistance du béton diminue avec l'augmentation des dimensions. Ce phénomène peut être expliqué par l'effet de gaine qui diminue avec l'augmentation des dimensions de l'éprouvette. La résistance à la compression d'un cube de 15 cm de côté essayé dans des conditions bien déterminées (sans graissage des surfaces) est adoptée dans certains pays comme la mesure normalisée de la qualité du béton.

3.2. PRISME

Il semble qu'en allongeant l'éprouvette parallèlement à l'effort de compression, on obtient dans sa partie centrale une zone de sollicitation homogène, soustraite aux effets des conditions d'appuis. A la place du cube on emploie des prismes à base carré. L'expérience montre que la résistance des éprouvettes prismatiques de base carré de côté a et de hauteur h soumises à une compression diminue rapidement avec l'augmentation du rapport h/a puis lentement à partir de h/a = 2a comme l'illustre schématiquement la figure 5. Ce phénomène s'explique tout comme pour le cube par le frottement exercé sur les faces du prisme et dont l'influence diminue avec l'augmentation de la hauteur h. Le but recherché semble ainsi atteint par l'adoption du prisme à rapport h/a au moins égal à 2. Il est conseillé de ne pas dépasser ce chiffre 2 car la dispersion de l'essai croît au delà avec la hauteur. Le prisme est l'éprouvette réglementairement utilisée en Allemagne.

3.3. CYLINDRE

Une autre éprouvette analogue au prisme et qui conduit à des résultats voisins est le cylindre. L'éprouvette cylindrique d'une hauteur h égale à deux fois son diamètre d est depuis longtemps en usage aux USA, en France, au Canada et dans d'autres pays. L'avantage d'une telle forme est la possibilité de réaliser des moules cylindriques précis à un prix bien moindre que des moules pour prismes. Des moules en cartons qui ne servent qu'une seule

fois sont aussi utilisés. Le Canada et les USA ont adoptés comme éprouvette étalon un cylindre de 30,5 cm de hauteur et de 15,2 cm de diamètre. En France, le CCBA adopte le cylindre 16x32 cm alors que le Comité Européen du Béton penche pour celui 15x30 cm. Pour un même béton la résistance à la compression mesurée sur un cylindre constitue environ 0,7 à 0,75 de celle obtenue sur un cube de 15 cm de côté.

3.4. EPROUVETTES DE DIFFÉRENTES DIMENSIONS ET FORMES

Une grande partie du travail expérimental sur lequel repose nos connaissances actuelles s'appuie sur le cube c'est à dire que la résistance à la compression y a été mesurée. Aujourd'hui les essais se réfèrent plutôt au cylindre bien que le cube ne soit pas entièrement abandonné et reste d'usage dans certaines conditions particulières ainsi que pour certaines applications particulières. Pour ne pas perdre le fruit de ce qui est basé sur le cube, des clefs de passage ou des opérateurs de forme ont ainsi été établis d'une référence à l'autre et rapportés dans la littérature [1]. Ce n'est malheureusement pas simple comme démarche eu égard surtout à la sensibilité de la mesure sur cube et aux conditions d'essais.

La commission béton de la RILEM a publié une étude bibliographique basées sur 52 références et les réponses à une enquête internationale effectuée dans 29 laboratoires de 21 pays sur la question [2]. Il semble ainsi que le rapport de la résistance mesurée sur le cylindre 15x30 sur la résistance mesurée sur le cube de 20 varie de 0.7 à 0.9 c'est à dire en moyenne d'un rapport de 0.8. Le comité européen du béton estime que ce même rapport pourrait varier entre 0.75 et 0.9 et qu'une moyenne admissible était de 0.83. La résistance la plus probable du béton mesurée sur le cylindre (R_{cyl}) est liée à celle sur cube de 20 cm de côté (R_c) par la formule empirique :

$$R_{cyl} = R_c (0.76 + 0.20 \log(R_c/200))$$

En général des facteurs de conversion établis par l'ISO qui adopte des coefficients pour relier les résistances trouvées sur des éprouvettes de dimensions et formes différentes sont utilisés. Cependant dans des cas très particuliers, des essais directs permettent aussi l'établissement de facteurs de conversion. Le cube de 15 cm d'arête et le cylindre 16x32 cm sont pris comme les étalons d'éprouvettes de référence :

$$R_{\text{épreuve de référence}} = R_{\text{épreuve x}} / \varphi_{\text{forme}}$$

Les tableaux 2 et 3 regroupent les valeurs des coefficients correcteurs φ_{forme} à appliquer respectivement à la résistance de cubes de différentes arêtes et de cylindres de diamètres différents. La référence [1] rassemble pour le lecteur intéressé plus de détails sur le sujet.

Arête cube (cm)	10	15	20	25	30
φ cube	1.1	1	0.95	0.92	0.9

Tableau-2 φ_{forme} de cubes de différents côtés

Cyl. x/2x (cm)	10/20	16/32	20/40	25/50	30/60	40/80
φ cylindre	1.10	1	0.97	0.95	0.91	0.85

Tableau 3- φ_{forme} de cylindres de différentes dimensions d'élanement

Dans les deux types de géométries cubique et cylindrique, il apparaît que plus l'éprouvette est de petite taille, plus la résistance mesurée est à minorer c'est à dire plus la section des éprouvettes est petite, plus la résistance est grande à élanement égal. Ce phénomène est la conséquence de l'effet de freinage sur les plateaux de la presse, connue des manipulateurs et des expérimentateurs au niveau des laboratoires.

Des études réalisées sur un assez grand nombre d'essais ont montrés que la résistance mesurée sur le cube de 15 cm d'arête est en général supérieure de 20 % à 25% de celle obtenue sur le cylindre 16/32 et ce pour différents dosages en ciment [1].

4. EXPRESSION DES RÉSULTATS

La charge maximale enregistrée au cours de l'essai relevé sur le cadran de la presse de compression ou sur le tracé de la courbe charge-déplacement enregistrée est retenue comme étant la charge à la rupture et la résistance à la compression est calculée par la relation classique de la résistance des matériaux:

$$R = P/S$$

P : charge enregistrée au moment de la rupture de l'éprouvette

S : Aire de la section transversale de l'éprouvette

Grâce aux énormes progrès et recherches réalisés en extensométrie à l'aide du développement de l'électronique, le relevé de l'allure du comportement à l'aide du tracé complet et continu de la courbe charge déformation est assez courant et les paramètres mécaniques sont ainsi mesurés avec plus de précision.

Sur éprouvette, le module statique de déformation en compression ou module de Young est déterminé graphiquement après le relevé du tracé contrainte-déformation.

Ce paramètre mécanique est utilisé principalement dans le calcul des flèches et de raccourcissement à la mise en précontrainte. En général il est compris entre 20 000 et 45 000 MPa suivant la résistance à la compression.

Cependant en l'absence de détermination expérimentale et pour des conditions pratiques particulières, des formules empiriques reliant le module statique instantané E_i à la résistance à la compression R sont proposées dans la littérature scientifique et technique. Ainsi, le règlement CCBA 68 propose l'équation courante suivante:

$$E = 6700 \sqrt[3]{R}$$

Diverses études montrent cependant que cette formule aboutit à une surestimation de la valeur obtenue du module.

Le comité Européen du béton (CEB) donne :

$$E = 9500 \sqrt[3]{(R+8)}$$

A partir de nombreux résultats le CEBTP/CES a pu obtenir des relations qui semblent encore mieux adaptées, soit :

$$E = 10800 \sqrt[3]{R}$$

Toutes ces expressions sont données en MPa. Le tableau 4 donne à titre comparatif les valeurs du module obtenues à partir de ces formules pour différentes valeurs de la résistance [6].

Origine	Formule	R = 20 Mpa	R = 30 MPa	R = 40 MPa
CCBA 68	$E = 6700 \sqrt[3]{R}$	29 700	36 500	42 000
CEBTP/CES	$E = 10800 \sqrt[3]{R}$	29 200	33 500	36 840
CEB	$E = 9500 \sqrt[3]{(R+8)}$	28 900	32 000	34 800

Tableau 4- Comparaison des valeurs du module élastique en compression du béton obtenues selon les différentes formules proposées

Il est à signaler que ces expressions empiriques sont données pour des dimensions courantes de granulats ($D_{max} = 25$ mm). Cependant il apparaît que D un est paramètre qui influence cette relation. Le CEBTP/CES a mis ainsi en formule une expression du module pour des valeurs de D différentes, soit :

$$E = 50000 [\sqrt[3]{R} 1,5 + 1,2 \log_{10} D]$$

Cette expression s'exprime en bars. R représente la résistance du béton à la compression exprimée aussi en bars.

Il est aussi intéressant de noter que lorsque les éprouvettes destinées à l'essai de résistance à la traction font défaut, des formules empiriques simples reliant la résistance à la compression

facile elle à mesurer à celle à la traction peuvent être utilisées pour une estimation de cette dernière et son utilisation dans les calculs spécifiques. Un inventaire des principales relations est rassemblé dans les références [2] et [5] et le lecteur intéressé pourra s'y référer.

5. CONCLUSION

La résistance en compression du béton reste l'une des caractéristiques de base dans les calculs des structures. Sa détermination expérimentale nécessite une maîtrise de l'art ainsi que la mise en place de méthodologies expérimentales d'essais appropriées pour une estimation précise et correcte de cette propriété devenue fondamentale et essentielle et la plus utilisée dans la réalisation et la conception des ouvrages. La garantie de la qualité des essais, leur validité ainsi que leur reproductibilité restent tributaires d'une définition rigoureuse et stricte de toutes les conditions de mode opératoire. Ces méthodologies constamment en progrès grâce aux apports des recherche scientifiques et des développements technologiques font l'objet dans divers pays de la mise en place de normes réglementant la pratique de ces essais destructifs fondamentaux de base dont les résultats sont utilisés aussi bien par l'ingénieur et le chercheur que par le producteur des matériaux de construction ou l'entrepreneur utilisateur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] F. Gorisse « essais et contrôle des bétons », éditions Eyrolles, Paris, 1978.

[2] B. Redjel « cours de post-graduation : Mécanique des matériaux et des structures », Département de Génie Civil, Université de Annaba, 1999.

[3] F. Gorisse « les essais mécaniques » in le béton hydraulique, presses de l'ENPC, Paris, 1982, pp. 379-381.

[4] CSTC contrôle de la qualité du béton en laboratoire et sur chantier, Belgique.

[5] G. Dreux « contribution à l'étude du comportement des éprouvettes de béton », Annales ITBTP, Février 1965.

[6] B. Redjel « Mécanique des matériaux « Cours de DEUA 3 ème année Génie Civil, Département Génie civil, Université de Annaba, 2004.

LISTE DES FIGURES

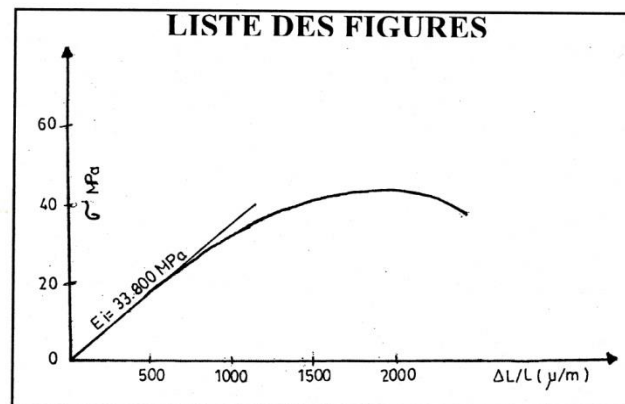


Figure 1- Exemple de relevé de courbe contrainte-déformation longitudinale et contrainte-déformation transversale pour évaluer le coefficient de Poisson

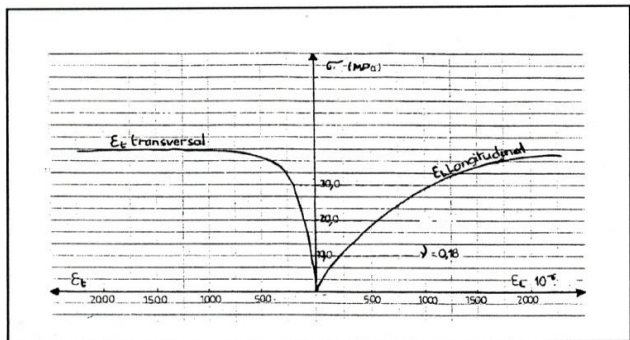


Figure-2 Exemple de l'estimation du module de Young.

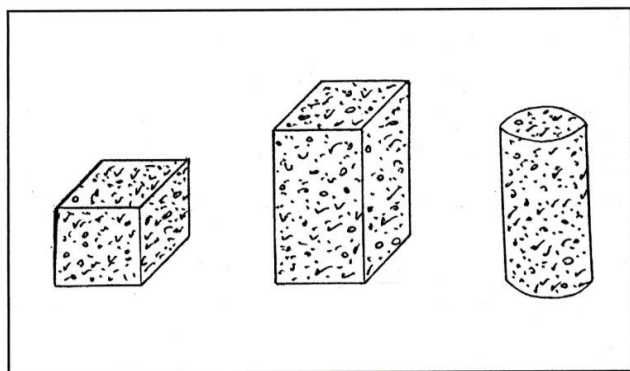


Figure-3 Géométries d'éprouvettes utilisées pour l'essai de compression du béton.

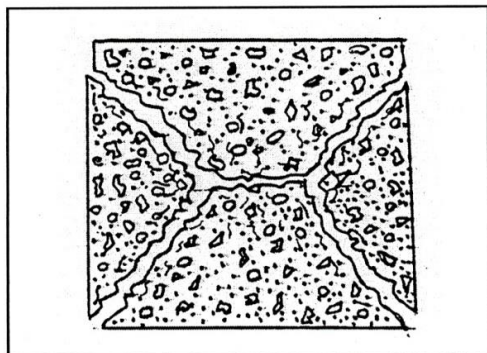


Figure-4 Exemple de rupture du cube

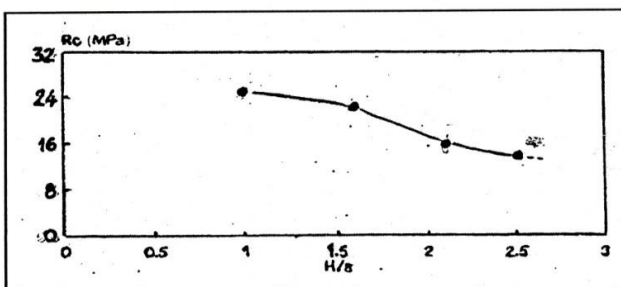


Figure-5 Variation de la résistance à la compression du béton en fonction du rapport h/a hauteur /coté de la base carré.