

LA MESURE DE LA RESISTANCE DU BETON A LA TRACTION

Par

Bachir REDJEL

Docteur en Mécanique Appliquée et Matériaux
Enseignant chercheur, Institut de Génie Civil - Université de Annaba

Et

Mourad YAHIAOUI

Post-graduant - Laboratoire Matériaux, Institut de Génie Civil
Université de Annaba

Résumé

La résistance du béton à la traction peut être mesurée par trois types d'essais : l'essai de traction directe, l'essai de traction par flexion et l'essai de traction par fendage ou essai brésilien.

Si le premier est rarement utilisé à cause des difficultés énormes qu'il présente au niveau de l'expérimentation, les deux derniers, bien que rapides à mettre en oeuvre et présentant un coût moins élevé, restent difficiles à analyser. L'exploitation des mesures de résistance données par ces deux essais nécessite alors une analyse rigoureuse des résultats.

Mots clés : béton - traction - résistance - essai.

1 INTRODUCTION

Le béton constitue l'un des éléments essentiels de notre civilisation. Sa capacité de prendre les formes les plus diverses et sa durabilité le rendent un des matériaux les plus utilisés dans le domaine de la construction.

Très vite, depuis son invention, les constructeurs en ont compris l'intérêt au plan de l'économie et les possibilités d'expression architecturale.

Dans les éléments d'une structure, le béton peut se trouver dans les différentes conditions d'exploitation. Celui-ci est souvent soumis à des charges de compression, de traction, de flexion, de cisaillement, etc ...[1].

Ainsi la nécessité est apparue d'un contrôle de qualité rigoureux de ce matériau, en particulier en ce qui concerne sa résistance. Les bétons à caractéristiques normalisées sont en effet vendus à la "résistance" et au "dosage".

Si les performances du béton sont acceptables en compression, sa résistance à la traction reste faible, limitant ainsi son utilisation dans ce type de sollicitation. Cette faible résistance à la traction indique surtout une grande fragilité correspondant le plus souvent à une mauvaise adhérence du liant aux granulats [2].

Il est alors nécessaire et utile pour la sécurité des ouvrages de connaître avec une bonne probabilité cette résistance avant l'utilisation du matériau. Celle-ci est obtenue par l'expérience et représente la moyenne des résistances mesurées sur un ensemble d'échantillons fabriqués et conservés dans des conditions aussi voisines que possible de celles de la structure.

Pendant plusieurs années, elle a été déterminée par des essais de traction directe sur les éprouvettes normalisées. Ces essais, bien qu'ils soient satisfaisants sur le plan théorique, présentent des difficultés énormes au niveau de l'expérimentation rendant parfois les mesures très délicates et aggravant la dispersion des résultats [3-4].

Les chercheurs et ingénieurs se sont alors efforcés d'élaborer des théories, d'effectuer des recherches et essais de substitution et d'en déduire des méthodes de caractérisation permettant l'accès à ce paramètre intrinsèque des matériaux. Ainsi la résistance du béton à la traction peut être mesurée soit par un essai de flexion sur des éprouvettes prismatiques de section carrée, soit par un autre mode d'essai classique dit "brésilien". Ce dernier consiste à soumettre une éprouvette cylindrique à un effort de fendage par application de forces de compression radiales suivant deux génératrices diamétralement opposées [5].

Ces essais, faciles à mettre en oeuvre et très satisfaisants sur le plan économique, donneraient en théorie les

mêmes résultats que ceux enregistrés par l'essai de traction directe. Cependant l'expérience a montré une très grande divergence dans les résultats de résistance donnés par ces trois types de sollicitations [3-6-7]. Ce phénomène est souvent attribué à l'existence d'une phase de non linéarité marquée, observée dans le relevé de la courbe *contrainte-déformation* du béton après la phase élastique (cas de la flexion) ainsi qu'à la complexité des mécanismes de déformation à l'échelle microscopique et à l'hétérogénéité du champ de déformation dans chaque type de sollicitation [8-9-10].

Les divergences sont parfois importantes surtout en ce qui concerne les résultats donnés par l'essai de flexion. Des coefficients correcteurs sont proposés dans la littérature afin de rapprocher les résultats des mesures donnés par ces essais destructifs [1-3-6].

L'objet de cet article est de faire une synthèse sur les méthodologies expérimentales utilisées ainsi qu'une analyse des résultats obtenus par ces trois types d'essais. Une attention particulière est accordée à l'essai de flexion car il permet de reproduire le type de sollicitation en traction le plus fréquent dans les poutres de béton et béton armé utilisées dans le domaine de la construction.

2 PARAMETRES DE L'ESSAI

la résistance à la traction étant une grandeur caractéristique très importante, elle dépend non seulement de la forme et des dimensions de l'éprouvette, mais aussi de la nature de sa surface et de la rapidité d'application de la charge. Ainsi, pour obtenir des résultats comparables, il est nécessaire de suivre scrupuleusement les méthodes d'essais normalisées pour le matériau étudié.

En l'absence d'une normalisation dans notre pays, les fabricants et les utilisateurs industriels du béton adoptent généralement pour les exécutions des essais, les normes françaises AFNOR, dont les références concernant les essais de traction sont [6-7] :

NF P18-400 février 1969	"moules et éprouvettes cylindriques"
NF P18-401 février 1969	"moules et éprouvettes prismatiques"
NF P18-407 février 1969	"essais de traction par flexion"
NF P18-408 février 1969	"essais de traction par fendage"
NF P18-409 février 1969	"essais de traction directe"

2.1 Moules et éprouvettes

Les éprouvettes couramment utilisées pour la mesure de la résistance du béton à la traction sont de forme prismatique à section carrée (essai de traction directe ou par flexion) ou cylindrique (essai de traction directe ou par fendage).

Les dimensions de ces éprouvettes doivent être fixées en fonction de la dimension maximale du plus gros gra-

nulat. Plus précisément, il a été établi une relation entre la plus petite dimension de l'éprouvette et le calibre maximal du granulat. On observe habituellement la règle dite des "4D", où D désigne le diamètre maximal des granulats [2]. Le côté "a" de la section de l'éprouvette ne doit pas être inférieure à 4D.

La normalisation AFNOR précise les dimensions pour chaque géométrie d'éprouvette utilisée dans les trois types d'essais de traction.

a) - Eprouvettes cylindriques

Elles sont utilisées principalement pour les essais de traction directe ou de traction par fendage. Le tableau 1 résume les dimensions de ces éprouvettes, fixées selon la norme NF P18-400 [6-7].

TABLEAU 1 : dimensions des éprouvettes cylindriques

FORMAT	Dimensions de fabrication (mm)		Dmax (mm)
	Diamètre a	Hauteur h	
Cylindre de 11	112,8	220	≤ 25
Cylindre de 16	159,6	320	≤ 40
Cylindre de 25	252,5	500	≤ 63

b) - Eprouvettes prismatiques

Ces éprouvettes sont principalement utilisées pour les essais de traction directe ou de traction par flexion. Le tableau 2 indique les dimensions à respecter pour cette géométrie d'éprouvette selon la norme NF P18-401 [6-7].

TABLEAU 2 : dimensions des éprouvettes prismatiques

PRISME DE	Dimensions de fabrication (mm)		Section a ² (cm ²)	Distance entre appuis inférieurs 3a (mm)	Dmax (mm)
	Arête de base a	Longueur L = 4a			
7	70,7	282,8	50	212,1	≤ 16
10	100,0	400,0	100	300,0	≤ 25
14	141,4	565,6	200	424,2	≤ 31,5
20	200,0	800,0	400	600,0	≤ 50

Généralement, les éprouvettes sont soit sciées à chaque extrémité pour éliminer la zone de béton plus ou moins hétérogène, soit carottées ou extraites d'un bloc de béton pour être expérimentées [4].

Concernant l'essai de traction directe, d'autres formes d'éprouvettes ont été développées et utilisées, comme par exemple l'éprouvette allemande en forme de 8 classique (Figure 1). Ces éprouvettes avaient pour but d'éviter les ruptures au niveau des mors d'attache de la machine et de concentrer la rupture finale au niveau de la section médiane. Elles permettent de tenir compte de l'influence de la compacité sur la résistance à la traction ainsi que le rôle néfaste des vides intérieurs au béton, lesquels induisent une forte concentration des contraintes. Cependant des mesures par photoélasticité montrent que la répartition des contraintes dans la section médiane où doit se produire la

rupture n'est pas uniforme à cause des fortes concentrations de contraintes introduites par les courbures de la section.

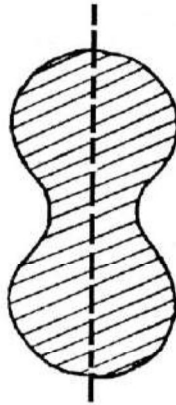


Figure 1 : Eprouvette allemande en forme de 8

L'Anglais Coker proposa une autre forme de géométrie d'éprouvette donnant une traction uniforme au centre (Figure 2). Enfin L'Hermite a développé une éprouvette cylindrique à tête dite en ligne de jet, permettant d'avoir une déformation uniforme dans un volume central de hauteur égale à $1,5d$ (Figure 3).

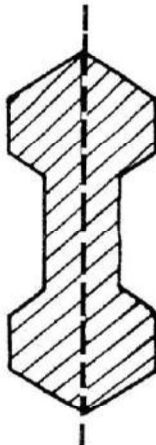


Figure 2 : Autre forme d'éprouvette de mesure de la résistance du béton (proposée par Coker)

2.2 Nombre d'éprouvettes

Le béton étant un matériau hétérogène, le phénomène de dispersion observé dans les mesures de la résistance à la traction rend souvent difficile l'interprétation des résultats. L'écart quadratique ou écart type ne peut être vraiment significatif, comme toute statistique, qu'à partir d'un nombre de mesures assez important.

D'après G. Dreux [6], douze valeurs constituent un minimum. Il reste évident que la connaissance de la résistance du béton sera d'autant meilleure que le nombre d'éprouvettes sera plus grand. Ainsi, le nouveau règlement français du béton précontraint (Août 1973) préconise un minimum de 30 éprouvettes.

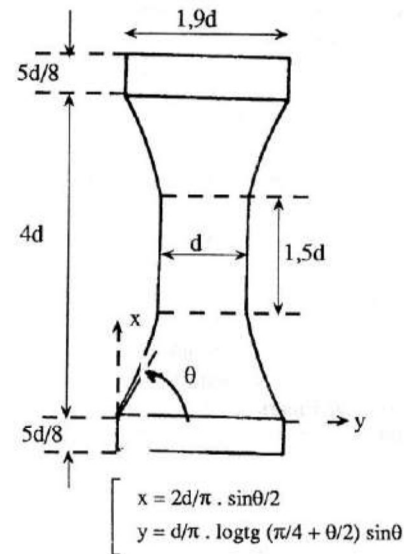


Figure 3 : Eprouvette à tête dite en ligne de jet (épreuve l'Hermite)

2.3 Vitesse de sollicitation

Il est bien connu que la vitesse de mise en charge influe considérablement sur tous les essais de résistance des matériaux.

Dans les essais de mesure de la résistance à la traction du béton, la mise en charge doit s'effectuer d'une manière continue à la vitesse moyenne de 0,5 bar par seconde avec une tolérance de $\pm 0,1$ bar par seconde [6].

3 PRATIQUE DES ESSAIS DE TRACTION SUR LE BETON

Les trois essais les plus fréquemment effectués à l'heure actuelle pour mesurer la résistance du béton à la traction sont les suivants :

3.1 Essai de traction directe

C'est un essai très délicat à réaliser, qui ne peut être utilisé de manière courante.

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques, et consiste à appliquer à chacune des extrémités de l'éprouvette un effort de traction parfaitement centré afin d'éviter l'apparition d'un moment de flexion parasite. Il nécessite après sciage des extrémités de l'éprouvette sur un ou deux centimètres pour éliminer le béton dont la qualité est toujours perturbée, le collage des têtes de traction au moyen d'une colle dont la résistance est supérieure à celle du béton (Araldite ou résine Epoxy).

Le dispositif comporte des tiges de traction centrées et articulées par rotules (Figure 4).

La résistance à la traction R_t est donnée par la formule classique de la résistance des matériaux : $R_t = N/S$

N et S représentent respectivement l'effort de rupture et a section de l'éprouvette.

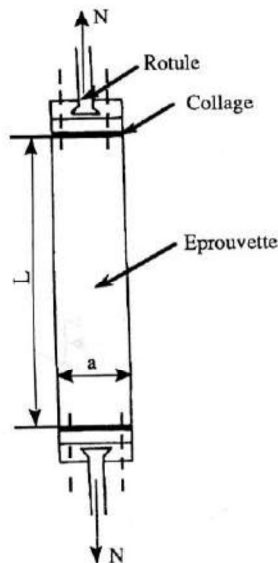


Figure 4 : Dispositif de traction directe

Cet essai satisfaisant sur le plan théorique, présente néanmoins certaines difficultés au niveau de l'expérimentation :

- Il est assez dispersé dans ses résultats, en raison des ruptures qui se produisent souvent dans les zones de collage ou au niveau des mors de la machine (pour les appareils équipés de ce dispositif). Dans cette zone se produit une importante concentration de contrainte provoquée par les forces d'écrasement dues au serrage (Figure 5).
- Il est très coûteux.

Etant donné ces critères, les résultats de cet essai sont surtout pris comme référence en laboratoire.

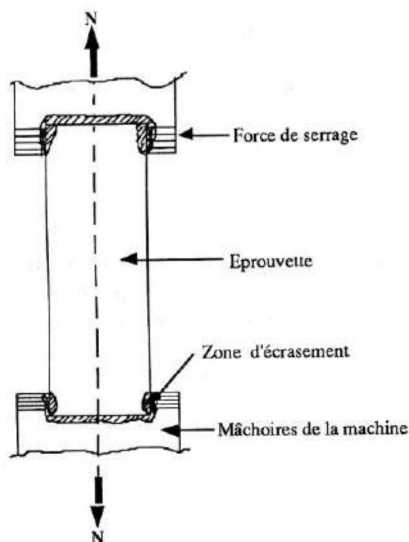


Figure 5 : Schéma de fixation d'une éprouvette de traction au niveau des mâchoires de la machine de traction (zones de serrage)

3.2 Essai de traction par fendage

D'après A. Guerrin et R.C Lavour [1], cet essai a été imaginé en premier par Mesnager en France vers 1905 avant d'être repris plus tard par les brésiliens.

Appelé aussi "*essai brésilien*", il consiste à rompre un cylindre entre les plateaux d'une presse de compression suivant deux génératrices opposées. Le contact des plateaux de la presse avec l'éprouvette est réalisé par l'intermédiaire de réglettes de contre-plaqué de 5 mm d'épaisseur et de largeur égale au 1/10 du diamètre du

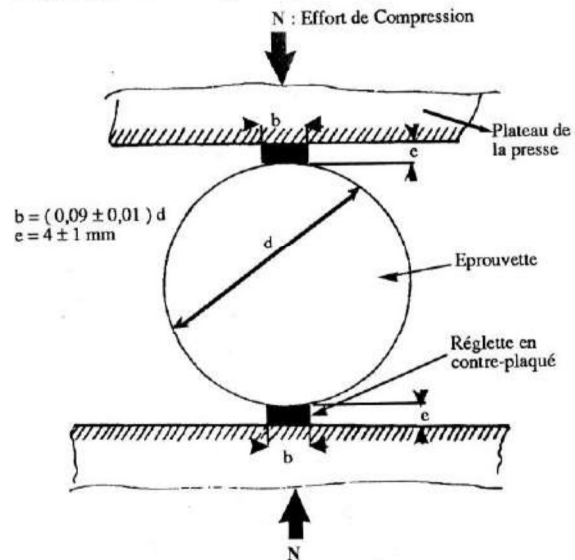


Figure 6 : Dispositif de mise en charge de l'éprouvette cylindrique pour l'essai de fendage

cylindre. Un centrage parfait est nécessaire (Figure 6).

Ce type de sollicitation est pratiquement inexistant dans les structures, il est donc purement conventionnel.

L'essai nécessite des éprouvettes avec des génératrices rectilignes. Ainsi les moules en carton sont à éviter en raison des spires de cartons qui laissent des irrégularités le long des génératrices.

L'effort de compression N développe des contraintes de traction à l'intérieur de l'éprouvette suivant un plan médian (Figure 7). Ces contraintes de traction sont déve-

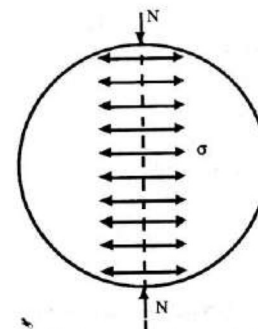


Figure 7 : Développement des contraintes de traction suivant un plan médian

loppées sur le plan de fendage au moment de la rupture.

Les répartitions des contraintes sur les plans diamétraux verticaux et horizontaux sont indiquées sur la figure 8. Le cylindre se fend suivant une surface très voisine du plan diamétral qui joint les génératrices (Figure 9).

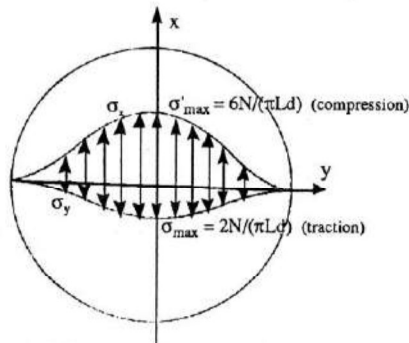


Figure 8 : Répartition des contraintes sur les plans diamétraux (horizontal et vertical)

La résistance du béton en traction par fendage R_{fd} est donnée par la formule suivante, obtenue à partir de la théorie de l'élasticité [1-11] :

$$R_{fd} = 2N/(\pi d L)$$

- N Charge à la rupture
- d diamètre de l'éprouvette
- L longueur de l'éprouvette

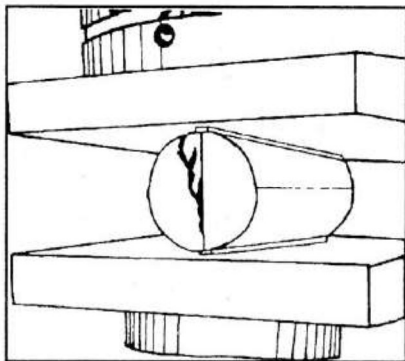


Figure 9 : Rupture d'une éprouvette cylindrique dans l'essai de traction par fendage

Sur toute la hauteur du plan diamétral vertical qui n'est autre que le plan de rupture, la contrainte de traction est constante (Figure 10), ce qui reproduit un état de traction pure. Mais l'existence sur ce même plan d'une contrainte de compression augmente sensiblement la résistance du béton à la traction [1].

Cependant les comparaisons faites avec l'essai de traction directe donnent une assez bonne concordance. Le rapport R_{tr}/R_{fd} est en moyenne de 0,75 et varie de 0,72 à 0,85 [1].

Les recommandations internationales FIP/CEB indiquent que l'expression donnant R_{fd} doit être frappée d'un coefficient de minoration égal à 0,85 [3].

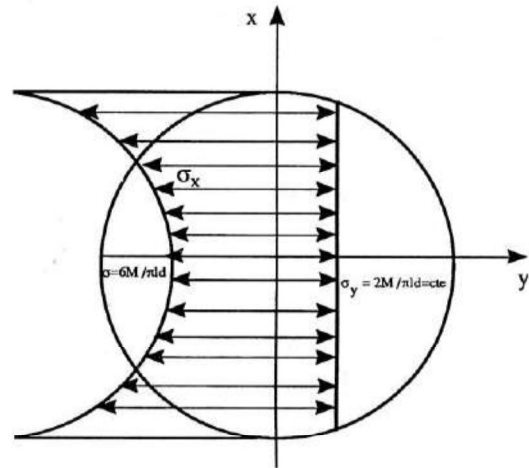


Figure 10 : Répartition des contraintes de traction suivant le plan diamétral vertical au plan de rupture lors d'un essai de traction par fendage

La résistance à la traction serait alors donnée par la formule empirique suivante [5] : $R_{fd} = 0,55N/(dL)$

F. Gorisse [7] affirme que les résultats donnés par cet essai sont un peu optimistes comparativement à la valeur vraie de la résistance à la traction directe, déterminée dans de bonnes conditions. Il semblerait que l'excès de résistance soit de l'ordre de 8 à 10%.

Depuis sa normalisation, cet essai est très utilisé vu les nombreux avantages qu'il présente :

- ♦ on utilise les mêmes moules et les mêmes presses qu'en compression ce qui est important en ce qui concerne l'influence du paramètre forme,
- ♦ du fait de leur volume plus important, les éprouvettes sont plus représentatives,
- ♦ les essais peuvent être réalisés sur des carottes prélevées dans l'ouvrage, à condition qu'elles soient très régulières,
- ♦ c'est un essai très économique,
- ♦ c'est un essai de moindre dispersion qu'un essai de traction directe ou de traction par flexion.

Il est à signaler que dans certains pays le fendage est effectué également sur des éprouvettes cubiques ou prismatiques [2-12]. Il est alors nécessaire d'utiliser des échantillons de très bonne rectitude des génératrices. Pour cela il faut respecter rigoureusement les tolérances indiquées par la normalisation. En revanche cet essai peut être réalisé sur des éprouvettes de longueur quelconque, ce qui le destine à être pratiqué sur des échantillons prélevés par carottage dans un ouvrage.

La résistance à la traction par fendage R_{fd} d'une éprouvette cubique de côté "a" soumise à un effort de rupture N est donnée par la formule suivante [12] :

$$R_{fd} = 2NK/(\pi a^2)$$

K est un coefficient qui prend les valeurs 1,3 et 1,1 respectivement pour les bétons légers et les bétons lourds.

3.3 Essai de traction par flexion

Il est le plus connu et le plus utilisé des trois essais. Il permet de reproduire le type de sollicitation en traction le plus fréquent dans les ouvrages : la flexion.

Il peut être réalisé par deux techniques :

a) Essai sur machine "SIMRUPT "

L'appareil se compose d'un bâti et d'un bras mobile, portant tous les deux des mâchoires entre lesquelles est disposée l'éprouvette prismatique. Une force est appliquée à l'extrémité d'un bras à l'aide d'un dispositif de chargement spécial (figure 11) [1]. La charge croît jusqu'à rupture de l'éprouvette qui, au cours de l'essai, est soumise à un moment fléchissant constant (flexion circulaire Figure 12).

La contrainte de traction par flexion est obtenue à l'aide de la formule de la résistance des matériaux : $\sigma = Mv/I$ avec :

- M = N.L moment fléchissant maximal
- v distance entre le centre de gravité de la section de l'éprouvette et la fibre la plus tendue
- I moment d'inertie de l'éprouvette
- L bras de levier (constante de l'appareil)
- N charge de rupture

Pour une éprouvette prismatique de section carrée, de côté "a", la résistance du béton à la traction par flexion est donnée par : $R_{fl} = 6NL/a^3$

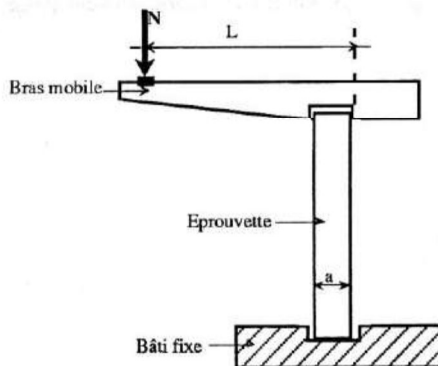


Figure 11 : Appareil SIMRUPT pour mesure de la résistance du béton en traction par flexion

b) Essai sur machine de flexion 3 ou 4 points

Le dispositif de flexion 4 points appelé aussi flexion pure est préférable à celui de la flexion 3 points du fait qu'entre les deux charges, le moment fléchissant est maximal et constant, alors que l'effort tranchant est nul.

Le dispositif expérimental est schématisé sur la figure 13. Il peut être réalisé, soit sur une machine de flexion équipée de ce montage, soit sur une presse de compression, en disposant des rouleaux d'appuis inférieurs distants de trois fois le côté de la section carrée de l'éprouvette, et supérieurs distants d'une fois le côté du prisme. Ces der-

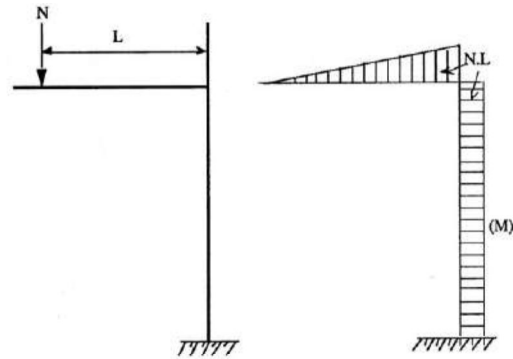


Figure 12 : Diagramme du moment fléchissant dans un essai de flexion par l'appareil SIMRUPT

niers appliquent la charge provenant de la plaque de la presse sur l'éprouvette.

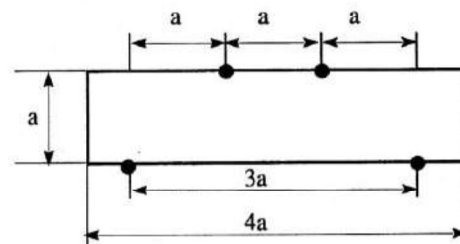


Figure 13 : Dispositif de flexion 4 points (ou flexion pure)

La résistance à la traction par flexion de l'éprouvette peut être déduite des formules classiques de la résistance des matériaux, et elle est donnée par : $R_{fl} = 3N/a^2$ où N est l'effort de rupture et "a" le côté de la section carrée de l'éprouvette.

L'expérience montre que la résistance du béton à la flexion est largement supérieure à celle mesurée par un essai de traction directe. En effet, le calcul de la résistance à la traction à partir de la formule de la résistance des matériaux basée sur la loi de Hook suppose que la distribution des contraintes à travers la section est linéaire et triangulaire (Figure 14). Dans ce cas : $R_{fl} = A'B'$.

En réalité l'essai s'effectue en dehors de la phase élastique où la formule n'est plus valable. Le diagramme réel est vraisemblablement de la forme B'A' (Figure 14) [2-6]. Ainsi, G. Dreux [6] sur la base d'études statistiques propose d'affecter la contrainte calculée par la formule de l'élasticité d'un coefficient 0,6. On obtient alors sur la figure 14 : $B'A' = 0,6 A'B'$ en supposant, une sorte de plastification précédant la rupture.

La résistance à la traction par flexion d'une éprouvette prismatique en béton de section carrée de côté "a" soumise à un effort de rupture N serait alors : $R_{fl} = 1,8N/a^2$.

La comparaison des résultats d'essais jumelés obtenus par flexion et par traction directe en tenant compte de ce coefficient 0,6 apparaît satisfaisante [8]. Actuellement, cette formule est largement utilisée dans les calculs de pièces en béton. Toutefois la valeur de ce coefficient 0,6 est une fonction croissante de la section de l'éprouvette se rap-

prochant de l'unité lorsque la section augmente [2]. F. Gorisse [2] conclue que ce coefficient n'a donc qu'une signification tout à fait approximative et conventionnelle.

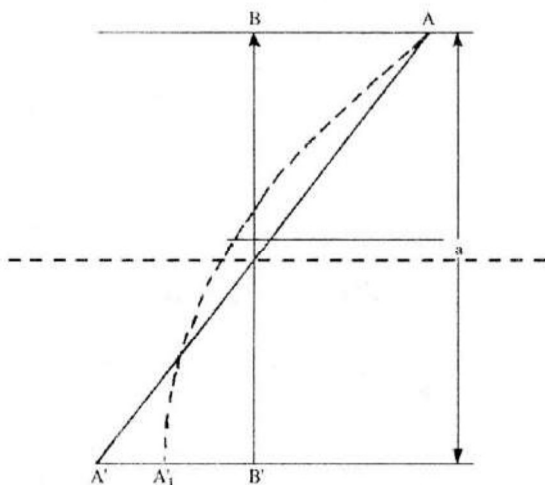


Figure 14 : Répartition réelle des contraintes dans une section d'une éprouvette en béton soumise à la flexion.

A. Guerrin [1] comparant les résistances en traction pure R_t et en traction par flexion R_{Π} données par les essais montre que : $R_t = K R_{\Pi}$ avec $K \leq 1$.

Expérimentalement K varie de 0,555 à 0,625 [1]. D'après cet auteur K est fonction de la hauteur de l'éprouvette et son expression exacte est :

$$K = 1/\sqrt{1 - 2D/a + 4(D/a)^2/3}$$

où D représente le diamètre du plus gros granulat. Cette formule n'est valable que pour $D \leq a/2$. Il explique le phénomène ainsi (Figure 15) :

Le diagramme (a) représente la phase élastique du comportement du béton, mais en réalité l'essai s'est effectué en dehors de cette phase. Le diagramme (b) représente la période de plasticité. Les contraintes sur la fibre extrême tendue ne pouvant plus croître, ce sont celles de la partie centrale qui interviennent pour soulager la première, et tout fonctionne à peu près selon le diagramme (b). A la rupture, on a sensiblement le diagramme (c), où la quasi-totalité de la résistance du béton à la traction est exploitée alors que les fibres comprimées ne travaillent pas encore toutes à leur contrainte maximale.

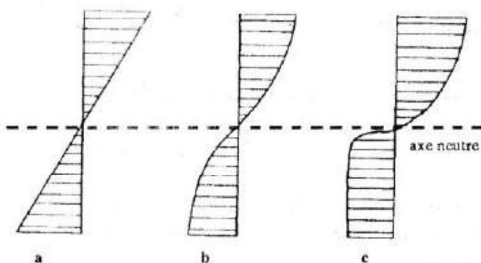


Figure 15 : Schématisation de la répartition des contraintes en flexion dans une éprouvette en béton selon A. Guerrin [1]

Cette modélisation schématique purement théorique, quoique très proche de la réalité ne traduit pas la véritable réponse du matériau à ce type de sollicitation.

D'autres phénomènes sont en effet à l'origine de la divergence entre les résultats d'essais de traction directe et de traction par flexion.

Prot [13] vérifie sur des éprouvettes prismatiques que R_{Π} variait selon l'orientation du pilonnage. Ainsi, il note que R_{Π} est plus grande quand la face d'arase de l'éprouvette est tendue et plus faible quand la face d'arase est comprimée.

La différence qui atteint souvent 20% serait probablement due au fait que la face d'arase est mieux lissée et plus soignée que la face en contact avec le fond du moule. Sa compacité est alors meilleure et sa résistance à la traction se trouve ainsi plus élevée. Il est à noter que ce phénomène a déjà été mis en évidence par Feret [14] sur des éprouvettes en mortier avec un sable fin.

A la base de nombreuses études statistiques développées par Weibull [15-16], la divergence entre les résultats donnés par les essais de traction directe et ceux obtenus à partir de l'essai de traction par flexion trouverait aussi une origine dans un effet de taille et de volume.

La densité et la distribution des défauts existants dans le matériau n'est pas uniforme à cœur et à la surface des éprouvettes. Il est clair que les défauts volumiques qui conditionnent les résultats de l'essai de traction directe sont beaucoup plus nombreux et n'appartiennent pas à la même famille statistique que les défauts surfaciques qui eux gouvernent la rupture par flexion.

La probabilité de trouver un défaut critique à cœur de l'éprouvette (volume) est beaucoup plus importante que celle de trouver un défaut en surface (face tendue de l'éprouvette soumise à la flexion).

A cause de tous ces phénomènes, la résistance à la rupture mesurée par l'essai de flexion est généralement supérieure à celle mesurée par l'essai de traction directe.

Le développement de modèles statistiques prenant en considération l'ensemble des paramètres qui gouvernent la rupture du béton, permettrait probablement de conduire les recherches vers une normalisation de la donnée brute de la résistance du béton à la traction obtenue à partir d'un essai de flexion.

5 CONCLUSION

A partir de cette analyse sur la mesure de la résistance du béton à la traction, les conclusions suivantes peuvent être faites :

- ▲ Dans les sollicitations sous contraintes non homogènes, la résistance du béton aux points les plus sollicités est supérieure à la résistance sous contraintes homogènes.

▲ L'essai de flexion représente le mieux le mode de sollicitation du béton dans les ouvrages. Malheureusement ses résultats ne produisent pas fidèlement la contrainte de traction. Il reste cependant, que malgré son optimisme ses résultats permettent de comparer, classer et hiérarchiser les matériaux. L'utilisation de coefficients correcteurs permet aux ingénieurs et techniciens de bureaux d'études d'utiliser avec sécurité les résultats de cet essai dans des calculs de résistance à la traction.

▲ Les résultats de résistance à la traction donnés par l'essai de fendage sont encourageants. Cet essai permet dans certaines conditions de remplacer l'essai de traction directe. Il a l'avantage d'être reproductible et peut être utilisé quand le choix d'un essai de traction est à faire pour le contrôle d'un ouvrage à condition d'y consacrer suffisamment de soins ⑥

6 BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Guerrin et R. Lavour - "Traité de béton armé" tome 1, éd. Dunod - 4 éd. - Paris 1973.
- [2] F. Gorisse - "Les essais mécaniques in : le béton hydraulique", Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - Paris 1982.
- [3] B. Redjel - "Essais et expérimentation : cours de 1ère année post-graduation", Dépt Matériaux - Institut de Génie Civil - Université de Annaba.
- [4] B. Redjel et S. Benmedakhene - "La pratique des essais destructifs : l'essai de traction" - Techniques et Sciences - Revue Maghrébine N° 8 - Juin 1991.
- [5] R. Lacroix, A. Fuentes, A. Thonier - "Traité de béton armé", éd. Eyrolles - Paris 1982.
- [6] G. Dreux - "Nouveau guide du béton", éd. Eyrolles Paris 1978.
- [7] F. Gorisse - "Essais et Contrôle du béton", éd. Eyrolles - Paris 1978.
- [8] B. Redjel et S. Benmedakhene - "La pratique des essais destructifs : l'essai de flexion", Article à paraître.
- [9] B. Redjel et F.X de Charentenay - "Utilisation des statistiques de Weibull à la caractérisation des résines phénoliques et des matériaux composites SMC", Matériaux et Techniques N° 10-11 - Octobre 1987.
- [10] S. Benmedakhene - "Relation entre les résultats d'essais de flexion et de traction sur les matériaux" ? Mémoire de fin d'études de licence d'enseignement technique en Génie Civil - Université de Annaba, Juin 1991.
- [11] M. Albiges et A. Coin - "Résistance des matériaux appliquée" tome 1, éd. Eyrolles - Paris 1976. Collection UTI-ITBTP.
- [12] S. Djeghger - "La vibration de haute fréquence dans la technologie des bétons lourds à base de granulats naturels et des déchets de l'usine d'El Hadjar" - Thèse de Magister - Dépt Matériaux - Institut de Génie Civil - Université de Annaba, Mars 1989.
- [13] Prot - "Recherches sur les essais du ciment" Circulaire série F, N° 35 du 30 janvier 1947.
- [14] Ferret - "Relation entre la résistance à la traction et la compression des mortiers et bétons" Revue des matériaux de construction et de travaux publics, N° de mars à Novembre 1936.
- [15] W. Weibull - "A statistical theory of the strength of materials" ing. Vefenskaps. Akad. Handl. (Royal Swedish Inst. Eng. Research. Proc) N°151-1939.
- [16] W. Weibull - "A statistical distribution function of wide applicability" J. of Applied Mechanics, vol. 18, 1951.

In
génie
rs, cher
cheurs, ...
Le département
Stages et Formation
Continue de l'ENTP
organise des séminaires,
journées d'études, symposium, ...
Si vous souhaitez communiquer sur
un thème technique, présenter un travail
de haute technologie ou participer aux ses
sions de formation continue que nous tenons,
prenez contact avec nous.
Notre adresse :
Ecole Nationale des Travaux Publics
Département Stages et Formation Continue
Rue Sidi Garidi 16051 Kouba-Garidi (Alger)
Tél : (02) 58/50/37 et 58/69/69 Telex : 62 550

Communiqué

de la FC

de L'ENTP