

## **CHAPITRE 3**

### **NORMES, MATERIAUX, MELANGES ET ESSAIS UTILISES**

#### **3.1 Introduction**

La connaissance des divers propriétés : physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques des matériaux, est une exigence primordiale dans toute opération de construction ou de réparation, dont le but tout d’abord l’emploi judicieux de ces matériaux, ensuite pour faire un choix répondant à leur destination, et en fin pour que ces matériaux soient malaxés d’une façon correcte afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes.

A cet effet, essayons dans ce chapitre de présenter les normes, les caractéristiques des différents matériaux utilisés, les procédures de malaxage pour confectionner nos mélanges, bétons et mortiers ainsi que les différents essais expérimentaux pour les caractériser à l’état frais et à l’état durci.

#### **3.2 Normes**

##### ***A--Préparation des matériaux***

- *Analyse granulométrique*: EN 933-1
- *Equivalent de sable* : NFP 18-597
- *Essai Los Angeles* : NFP 18-573
- *Eau de gâchage* : EN 1008
- *Confection des bétons* : EN 12390-2
- *Confection des mortiers* : EN 196-1

##### ***B-- Normes utilisées à l’état frais***

A l’état frais, nous nous sommes basés dans notre étude sur les essais recommandés par l’AFGC, essais non normalisés, maintenant devenus sur site les essais de référence pour valider une formule de BAN [54].

##### ***C-- Normes utilisées à l’état durci***

- *Essai de compression* : NFP 18-406.
- *Essai de traction par flexion* : NFP 18-407.
- *Mesure de retrait* : NFP 15 -433.
- *Module élastique* : Essai non normalisé.

➤ *Calcul d'adhérence :*

- a. sur des éprouvettes cylindriques (essai de traction par fendage) NFP 18-408.
- b. sur des prismes, nous avons utilisé une méthode inspirée de la norme CRD C 85.

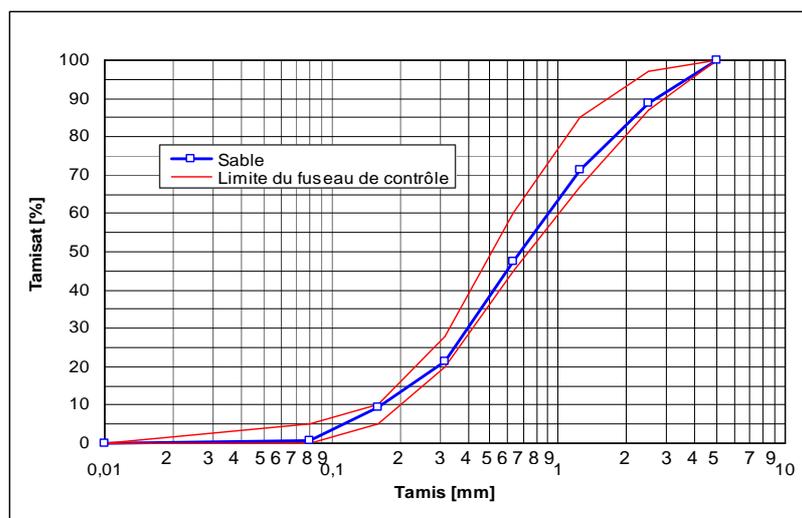
### 3.3 Matériaux utilisés

#### 3.3.1 Matériaux de base

##### *A- Sable*

Dans tous les mélanges de notre étude, nous avons utilisé un sable local prélevé d'Oued jedi situé à 35 Km de la ville de Biskra, il s'agit d'un sable siliceux de classe granulaire (0/5 mm) et utilisé couramment dans la confection du béton dans cette région.

Sa courbe granulométrique représentée dans la figure (3.1) est comprise dans le fuseau de contrôle pour le sable à béton selon la norme (EN933-2), ses caractéristiques physiques sont représentées dans le tableau (3.1).



**Fig. 3.1 - Courbe granulométrique du sable utilisé.**

**Tab. 3.1- Caractéristiques physiques du sable employé.**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente	1.68
Densité absolue	2.54
Module de finesse	2.04
Equivalent de sable (ESV)	77
Equivalent de sable (piston)	72

### B- Gravier

Pour assurer une bonne maniabilité (fluidité) à notre béton, nous avons choisi, à l'instar de ce qu'il est indiqué dans la partie bibliographique, l'utilisation d'un seul type de gravier, il s'agit de gravier de type (7/15). Gravier concassé, de nature calcaire, disponible dans le marché algérien, provenant pour notre région du gisement de Ain-Touta situé à 80km au nord de Biskra.

Afin d'obtenir une bonne adhérence entre la pâte du liant et les graviers, nous avons procédé à leur lavage et qui, une fois séchés, ont été conservés dans des sacs bien fermés. L'analyse granulométrique et les caractéristiques physiques de ces gravillons sont représentées dans la figure (3.2) et le tableau (3.2) respectivement.

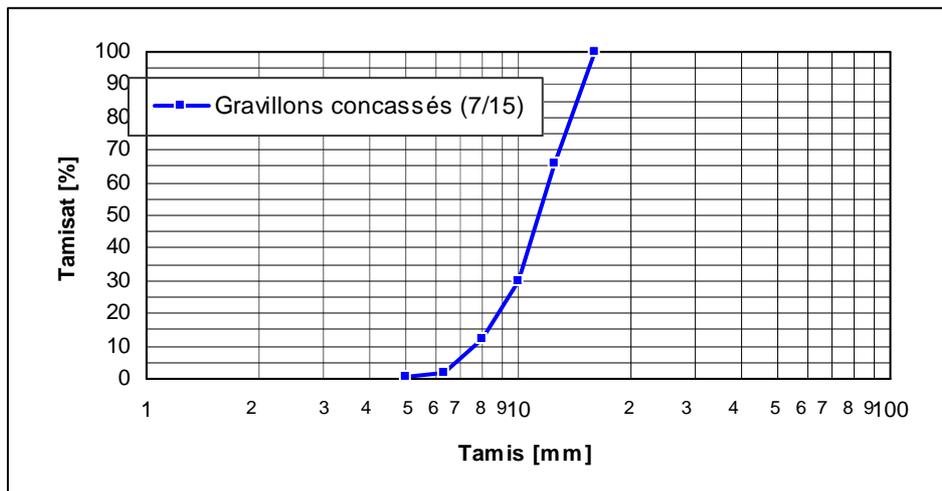


Fig. 3.2 - Courbe granulométrique du gravier utilisé.

Tab. 3.2 - Caractéristiques physiques du gravier employé (7/15).

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente	1.39
Densité absolue	2.62
Coeff. Los. Angeles [%]	23

**C - Ciment**

Pour tous les mélanges on a utilisé un seul type de ciment (CPJ-CEM II/42.5A) provenant d'une unique livraison de la cimenterie (SCIMAT) à Ain-Touta. Ainsi, la qualité de ce ciment constitue une constante au niveau des paramètres d'étude.

Ses analyses physiques, chimiques et minéralogiques communiquées par le producteur sont représentées respectivement dans les tableaux (3.3), (3.4) et (3.5).

**Tab. 3.3 - Caractéristiques physiques du ciment employé.**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité absolue	3.15
Densité apparente	1.09
Surface spécifique Blaine [cm <sup>2</sup> /g]	3371
Consistance normale [% H <sub>2</sub> O]	25.6
Début de prise [min]	123
Fin de prise [min]	180
Expansion à Chaud [mm]	1.80
Refus au tamis 45 µm [%]	17.40

**Tab. 3.4 - Caractéristiques chimiques du ciment employé.**

Eléments	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P.A.F	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	Résidu insoluble
Teneur (%)	61.69	20.34	5.37	5.03	3.00	2.20	1.80	1.12

**Tab. 3.5 - Composition minéralogique du ciment.**

Eléments	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Teneur (%)	58.3	14.6	8.7	11.26

### ***D- Eau de gâchage***

Il s'agit de l'eau du robinet de l'Université de Biskra, nous supposons qu'elle répond à toutes les prescriptions de la norme (EN 1008) en matière de béton.

### **3.3.2 Les additions minérales**

Dans notre étude, nous avons utilisé trois types d'additions minérales, présentées ci-dessous. Rappelons, simplement à titre d'indicatif que les informations techniques relatives à ces types d'utilisation ainsi que l'expérience pratique demeurent assez limitées.

#### ***A-- Fillers calcaires***

Il s'agit de roches calcaires broyées, disponibles dans la majorité des carrières de Biskra. Ils possèdent selon le fournisseur les caractéristiques physiques suivantes ; (densité absolue = 2.50, densité apparente = 1.09 et surface spécifique = 3070 cm<sup>2</sup>/g).



**Phot. 3.1- Fillers calcaires utilisés dans notre étude.**

#### ***B-- Laitier de haut fourneau***

C'est un produit granulé et broyé, qui provient du complexe sidérurgique d'El-Hadjar - Annaba- dans l'Est Algérien.

Ses caractéristiques physiques et sa composition chimique sont représentées respectivement dans les tableaux (2.5) et (2.6):

**Tab. 3.6 - Caractéristiques physiques du laitier employé.**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité absolue	2.73
Densité apparente	1.08
Surface spécifique	3000 cm <sup>2</sup> /g.

**Tab. 3.7 - La composition chimique du laitier employé.**

Élément	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Proportion [%]	40.8	43.0	6.4	5.2	3.0	0.8	0.5

**Phot.3.2- Laitier de haut fourneau utilisé dans notre étude**

### ***C-- Fumée de silice***

Il s'agit d'une fumée de silice, désignée par le nom «MEDAPLAST HP», à base de micro silice provenant de la société «GRANITEX» sous forme de poudre grise. Ces caractéristiques physiques sont représentées dans le tableau (3.7) :

**Tab. 3.8 - Caractéristiques physiques de la fumée de silice employée.**

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité absolue	1.87
Densité apparente	0.5
Surface spécifique	20470 cm <sup>2</sup> /g



**Phot.3.3- Fumée de silice utilisée dans notre étude.**

### **3.3.3. Adjuvants chimiques**

Nous avons utilisé deux types d'adjuvants, présentés ci-dessous, produisant par la même société «GRANITEX», et pour des raisons de confidentialité, le producteur ne fournit pas la composition chimique de ces adjuvants.

#### **A-- Super plastifiant**

Il se présente sous forme de liquide jaunâtre et est conçu à base de poly carboxylates, appelé «MEDAFLOW 30». Sa densité absolue est de 1.07 et sa concentration en particule solide est de 30 %. Le contenant de super plastifiant a été agité avant chaque utilisation afin de bien homogénéiser la solution.



**Phot.3.4- Superplastifiant utilisé dans notre étude.**

### **B-- Agent colloïdal**

Il se présente sous forme de poudre blanche soluble dans l'eau et est destiné normalement à la confection de bétons et mortiers coulés sous l'eau, désigné par le nom «MEDACOL BSE» et possède une densité absolue de 0.5.



**Phot.3.5- Agent colloïdal utilisé dans notre étude.**

### **3.3.4. Les fibres polypropylènes**

Il s'agit des fibres de polypropylène (synthétiques) produisant de « RESIKLON/FRANCE », ce sont des fibres blanches, emballées dans des sacs de 600 g (68 millions de fibres de 12 mm par sac), elles se dispersent très facilement dans les bétons et mortiers, et créent (selon le producteur) un réseau fibré de haute densité et qui a pour conséquence :

- l'amélioration de la cohésion à l'état frais ;
- la limitation du faïençage et des fissurations dues au retrait plastique ;
- l'augmentation de la résistance aux chocs ;
- une meilleure imperméabilité à l'état durci ;
- une réduction des risques de ségrégation et de ressuage.

Les principales caractéristiques fournis par le fabriquant sont :

Longueur : 12mm - Densité : 0,9Kg/m<sup>3</sup>.

Les fibres seront ajoutées à un dosage de 600g/ m<sup>3</sup>, directement dans le malaxeur sur le béton déjà mélangé, ensuite on malaxe à nouveau (1à 2 minutes), pour obtenir une bonne répartition de ces fibres.



**Phot. 3.6- Fibres polypropylènes utilisées dans notre étude.**

### **3.3.5 La résine**

Il s'agit d'une dispersion aqueuse qui se présente sous la forme d'un liquide blanchâtre. Produit par la même société « GRANITEX », appelé « MEDALATEX ». On l'utilise avec de l'eau de gâchage. Elle est compatible avec tous les types de ciment.



**Phot. 3.7- Résine (latex) utilisée dans notre étude.**

## **3.4 Confection des mélanges**

Avant de présenter le mode opératoire, de chaque mélange (béton ou mortier), nous rappelons que nous sommes passés dans notre étude par les étapes suivantes :

1. l'optimisation et la formulation de notre BAN.
2. l'introduction des ajouts minéraux (fillers calcaires, laitier, et fumée de silice) où nous avons étudié l'effet de ces ajouts sur la maniabilité et la résistance de notre BAN.
3. l'incorporation des fibres polypropylènes et l'étude de ses effets sur la maniabilité et la résistance aussi.
4. l'utilisation de la résine et l'évaluation aussi de son effet sur la maniabilité et la résistance.
5. l'application de différents bétons à la réparation, où nous avons évalué l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton.

### 3.4.1 Confection des bétons

Afin d'assurer un mélange homogène, dont la répartition de différents constituants de nos bétons est plus régulière, nous avons choisi d'effectuer nos travaux au laboratoire dans un malaxeur à cuve verticale tournante d'une capacité de 100l. La séquence d'introduction des différents matériaux est faite selon la norme (EN 12390-2), sauf dans le cas de l'ajout de l'agent colloïdal comme suit :

1. On verse d'abord le sable dans le malaxeur pour l'homogénéiser pendant environ 30 s.
2. On ajoute le liant (ciment seulement ou ciment et addition minérale) et on malaxe pendant 1 min.
3. On additionne les gravillons et on malaxe à sec durant 1 min.
4. On introduit ensuite les trois quarts de la quantité d'eau et l'agent colloïdal, s'il est utilisé, et on malaxe pendant 2 min.
5. On ajoute, au fur et à mesure, le reste de l'eau et le super plastifiant et on malaxe durant 2 min environ jusqu'à l'homogénéisation de l'ensemble.
6. On arrête enfin le malaxeur et on commence les essais à l'état frais immédiatement.

#### Remarque :

Dans le cas d'utilisation des fibres, comme nous avons indiqué précédemment, on les introduit dans le béton à la fin et ensuite on reprend le malaxage entre 1 et 2 minutes.

### 3.4.2 Confection des mortiers

Pour les mortiers, le malaxage a été effectué à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 l. la pale de malaxeur pouvant tourner à deux vitesses (lente et rapide). La séquence du malaxage est conforme à la norme (EN 196-1) sauf dans le cas de l'ajout de l'agent colloïdal. Cette introduction se fait comme suit :

1. On introduit l'eau et le super plastifiant en premier dans le malaxeur et on verse ensuite le ciment et l'agent colloïdal, s'il est utilisé.
2. Aussitôt après, on met le malaxeur en marche à vitesse lente.

3. Après 30 s de malaxage, on introduit régulièrement le sable normalisé pendant les 30 s suivantes.
4. On met alors le malaxeur à sa vitesse rapide et on continue le malaxage pendant 30s supplémentaires.
5. On arrête le malaxeur pendant 1 min et 30 s. Durant les 15 premières secondes, on enlève au moyen d'une raclette de caoutchouc le mélange adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
6. On reprend ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.
7. On arrête enfin le malaxeur et on commence les essais à l'état frais immédiatement.

### **3.5 Essais réalisés**

Avant de passer, à l'état final de notre étude (l'utilisation des BAN dans les travaux de réparation), on a procédé à deux familles d'essais, pour formuler et caractériser nos mélanges. Il s'agit des essais à l'état frais pour évaluer la maniabilité, et des essais à l'état durci pour déterminer les performances mécaniques.

#### **3.5.1 Essais réalisés à l'état frais**

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur les essais recommandés par l'[AFGC](#) seulement, [1] car ils sont devenus sur site comme nous avons présenté dans la section 2.3.1, les essais de références pour valider une formule de BAN.

Ces essais sont : mesure d'étalement, essai de la boîte en «L» et l'essai de stabilité au tamis.



Phot. 3.8- Essai d'étalement [40]



Phot. 3.9- Essai à la boîte en « L » [40]



Phot. 3.10- Essai de stabilité au tamis. [40]

### 3.5.2- Essais réalisés à l'état durci

Pour déterminer les performances mécaniques de nos mélanges, on a procédé aux différents essais détaillés ci-dessous :

#### A- Essai de compression

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cylindriques et cubiques de dimensions ( $16 \times 32 \text{ cm}^2$ ) et ( $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ) respectivement, mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression  $f_{cj}$  obtenus à 14, 28 et 90 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres et des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500kN en compression.

L'expression des résultats sera donnée par la relation  $f_{cj} = F/S$  (en MPa) où F est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette [11].



Phot. 3.11- Dispositif pour mesurer la résistance à la compression.

### ***B- Essais de traction par flexion***

Pour effectuer nos essais de traction par flexion, on a procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (10 x 10 x 40 cm<sup>3</sup>) mûries à l'eau, conformément à la norme (NFP 18-406). La résistance à la traction  $f_{t28}$  obtenue à 28 jours provient de la moyenne des résultats sur trois échantillons. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150kN en cisaillement.

L'expression des résultats pour exprimer la contrainte de rupture en traction par flexion, sera donnée par la relation  $f_t = 1.8F/axa$  (en MPa), où F est la charge de rupture, et a le coté de la base en mm [11].



**Phot. 3.12- Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.**

### ***C- Mesure du module élastique***

On détermine le module élastique à 28 jours sur des éprouvettes cylindriques de (16 x 32 cm<sup>2</sup>) mûries à l'eau, et équipées d'extensomètre axial d'un seul capteur permettant de mesurer les déformations longitudinales de l'échantillon sous des chargements croissants jusqu'à une contrainte maximale égale à :

$$\sigma_c = 0.6f_c$$

A partir de l'équation  $\sigma_c = E_c \varepsilon_c$ , il est possible d'après [12] de tracer la courbe  $\sigma_c = f(\varepsilon_c)$ , pour  $\sigma_c$  variant entre 0 et  $0.6f_c$ .

Sur cette courbe on peut mesurer la pente de la tangente à l'origine (module tangent) et la pente de la droite passant par l'origine et le point de coordonnée  $\epsilon_c$  et  $0.6f_c$  ( $E$  module sécant), avec :  $E = 0.6f_c / \epsilon_c$

Les résultats sont obtenus par la moyenne de deux essais.



Phot. 3.13- Dispositif pour mesurer le module élastique.

#### *D- Mesure du retrait*

Pour faciliter le travail expérimental, nous avons choisi d'effectuer l'étude de retrait sur des mortiers. Où nous avons utilisé des éprouvettes prismatiques de dimensions  $(4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3)$ , selon la norme (NFP 15 -433). Ces éprouvettes sont équipées de plots métalliques à chaque extrémité et placées verticalement dans le déformètre, qui permet le suivi de la variation de la longueur de l'échantillon.

Les mesures se font chaque trois jours après le démoulage et durant 28 jours.



Phot. 3.14- Dispositif pour mesurer le retrait.

### **3.6 Etude de l'adhérence entre ancien et nouveau béton**

La question de la durabilité de l'adhérence des réparations en béton doit être abordée non seulement d'un point de vue purement scientifique, mais aussi d'un point de vue pratique, car les ouvrages à réparer sont bien réels. En ce sens, il est intéressant de considérer les conclusions des études sur les moyens de mise en œuvre pour réaliser une réparation durable (enlèvement du béton détérioré, nettoyage, matériau de réparation, etc...). L'obtention d'une bonne adhérence est la condition déterminante pour la tenue d'une réparation durable. De façon pragmatique, une bonne adhérence est celle qui assure un lien efficace, uniforme et durable entre le matériau de réparation et son support.

L'efficacité du lien réfère à sa capacité à unir les deux parties (nouveau et ancien béton) comme si elles n'étaient qu'une pièce monolithique [51].

#### **3.6.1 Procédure de préparation et réparation des éprouvettes**

Pour évaluer l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton, nous avons choisi de travailler sur des simulations de réparations.

Il s'agit des éprouvettes prismatiques et cylindriques de dimensions (10 x 10 x 10 cm<sup>3</sup>) et (16 x 32 cm<sup>2</sup>) respectivement. Ces éprouvettes ont été fabriquées avec du béton ordinaire, et après 28 jours elles étaient soumises à l'essai de traction par flexion (pour les prismes), et traction par fendage (pour les cylindres), de façon à obtenir des demies éprouvettes, en y exposant les granulats de manière à avoir des surfaces plus rugueuses.

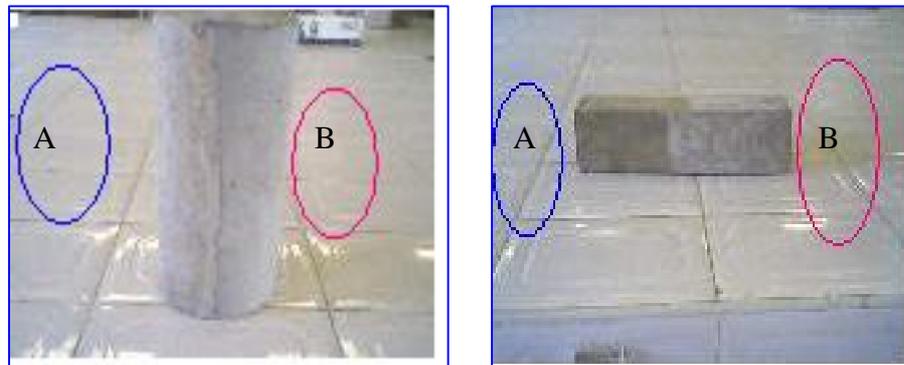


**Phot. 3.15- Représentation d'une surface rugueuse.**

A l'âge de trois (03) mois, ces demies éprouvettes ont été préparées pour recevoir les réparations avec du BAN, en les nettoyant avec un pinceau et au jet d'eau (tuyau branché au robinet avec pression), de façon à supprimer le plus possible les défauts et les particules lâches.

Avant l'application de la réparation, les surfaces rugueuses des demies éprouvettes (prismatiques et cylindriques), ont été humidifiées pendant 24h, pour obtenir la condition « Saturée Surface Sèche » dite SSS [35]. Ensuite, les demies éprouvettes, ont été placées dans les moules qui conviennent, et on déverse le béton de réparation (BAN), à l'exception d'une seule éprouvette où nous avons utilisé le BO pour la réparation comme témoin, afin d'avoir après démoulage des éprouvettes composites formées en deux parties collées à l'interface, la première partie forme le béton de base ou l'ancien béton (béton ordinaire), et la deuxième forme le béton de réparation ou le nouveau béton.

Enfin, ces éprouvettes ont été conservées dans l'eau, avant de les passer à l'âge de 28 jours dans la presse pour évaluer la résistance d'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton.



Phot. 3.16- Eprouvettes composites A : ancien béton, B : réparation.

### 3.6.2 Description de l'essai d'adhérence entre ancien et nouveau béton

Pour déterminer l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton, nous avons procédé à deux méthodes :

#### *La première méthode (essai d'adhérence en traction indirecte) :*

Il s'agit de soumettre les éprouvettes composites prismatiques à l'essai de traction indirecte, cette méthode est inspirée de la norme CRD C85, la procédure consiste à appliquer une charge de compression parallèle au plan de l'interface de réparation entre le béton de base et le béton de réparation, voir la figure 3.3.

La contrainte d'adhérence dans cette méthode, est estimée par le rapport de la charge à la rupture et de la surface, et le tout est affecté d'un facteur de correction estimé à 0.98.

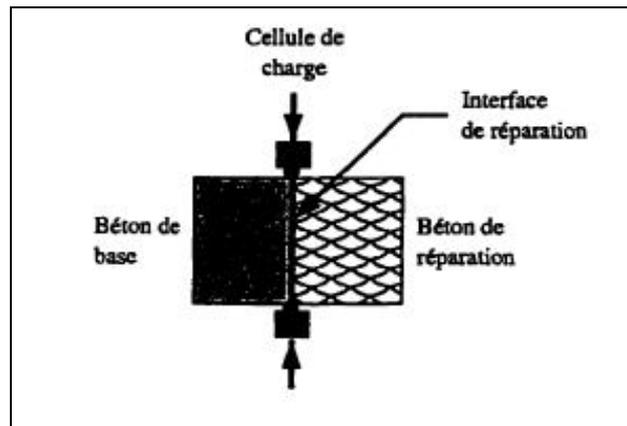


Fig. 3.3 - Schéma descriptif de l'essai en traction indirecte [47].

***La deuxième méthode (essai d'adhérence en traction par fendage) :***

Les éprouvettes cylindriques (composites) sont soumises à l'essai de traction par fendage pour évaluer la qualité de l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton.

Avec cette méthode, la contrainte d'adhérence n'est que celle de la traction par fendage, qui sera calculée par la formule suivante :  $f_i = 2P/\pi DL$ ,

Avec : P, c'est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical ;

D et L, sont le diamètre et la longueur du cylindre.

Enfin, nous avons essayé de faire la comparaison entre les deux méthodes.

**3.7 Bilan**

La qualité des matériaux utilisés dans notre recherche, est parmi les meilleurs matériaux dans le marché algérien, ce qui nous permet de considérer leurs caractéristiques comme suffisantes pour réaliser notre étude. Nous avons procédé à plusieurs essais, allant de la formulation de nos bétons autonivelants, et ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques, jusqu'à leur application comme matériau de réparation, et la vérification de l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton.