

V.1.Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre une revue sur les bétons à hautes performances et la campagne expérimentale menée dans cette étude.

Nous présenterons également le matériel ainsi que les compositions des bétons utilisés et les paramètres d'essais.

On appelle béton à haute performance le béton « BHP » qui a non seulement des résistances mécaniques plus élevées que celles des bétons ordinaires mais aussi une meilleure durabilité à long terme du fait qu'ils sont plus denses et compacts et donc imperméables.

La littérature disponible à nos jours sur le B.H.P et dont l'essentiel est revu dans ce travail a permis de constater l'absence d'une méthode "universelle" dans la formulation de ce matériau.

On a tenté dans cette partie d'indiquer un cheminement permettant d'élaborer une formulation en utilisant les matériaux locaux. Ce cheminement passe par deux phase : le choix des constituants et leur dosage, c'est-à-dire les aspects qualitatifs puis quantitatifs.

V.2.Choix des matériaux

Les propriétés d'usage des bétons à hautes performances sont des sujets d'étude dans différents points du monde, et un certain nombre de travaux portant sur les caractéristiques physico-mécaniques de ces bétons ont été publiés.

Notons que pour obtenir un BHP, il faut :

- ❖ Une sélection de granulats résistants et une granularité permettant d'obtenir une compacité optimale du béton et une meilleure adhérence avec la pâte de ciment.
- ❖ Le choix d'un ciment portland avec moins de C_3A , composée à vide d'eau.
- ❖ L'utilisation d'un rapport E/C au dessous de 0,4 (quantité d'eau réduite au strict minimum).
- ❖ L'utilisation des super plastifiants pour compenser la perte de maniabilité.

Il nous a semblé intéressant de travailler sur les matériaux locaux , afin d'établir une formulation régionale en nous appuyant sur nos des ingrédient disponible sur le marché.

En effet, il est préférable d'étudier tous les matériaux disponibles sur le territoire Algérien, afin de voir s'il est possible ou non de fabriquer un B.H.P dans un site donné.

V.2.1.Ciment

V.2.1.1.Origine

On a travaillé avec le ciment Awted /42,5 fabriqué par la cimenterie El-Beidha wilya de (Laghouat) ciment qui se trouve sur le marché.



Figure V.1 : Ciment Awted (Laghouat).

V.2.1.2.Caractéristiques physiques

On a procédé à des essais de la masse volumique et la masse spécifique, les résultats sont :



Figure (V-2) : Essai de la masse spécifique du ciment.

✓ La masse spécifique $\gamma_c = 1092.77 \text{ g/cm}^3$



Fig. (V-3) : Essai de la masse volumique du ciment.

✓ La masse volumique $\rho_c = 2900 \text{ kg/m}^3$

V.2.1.3.Réception et Entreposage

Pour éviter toutes variations sur la qualité du ciment tout au long du projet ; on a utilisé des sacs de ciment provenant d'une même séquence de production. On a fait un bon entreposage du ciment en couvrant les sacs d'une toile de plastique ,c'est une solution efficace car durant tous les travaux de laboratoire, on n'a constaté aucun préhydratation.

V.2.2.Sable

Le sable qu'on a utilisé est celui utilisé par la majorité des entreprises. C'est un sable de Guelta Laghouat

V.2.2.1.Caractéristiques physiques

Figure (V-4) : Essais de la masse spécifique du sable.

✓ La masse spécifique $\gamma_s = 1292 \text{ kg/m}^3$



Figure (V-5) : Essais de la masse volumique du sable.

✓ La masse volumique $\rho_s = 2542 \text{ kg/m}^3$



Figure(V-6): Série des tamis pour essai de l'analyse granulométrique du sable.

Tableau (V-1) : Analyse granulométrique du sable.

Tamis (mm)	Refus persiels (g)	Refus cumulés(%)	Tamisats (%)
5	0	0	100
2.5	28	2.8	97.2
1.25	51	7.9	92.1
0.630	339	41.8	58.2
0.315	306	72.4	27.6
0.125	243	96.7	3.3
0.080	21	98.8	1.2
Fond	11	99.9	0.1

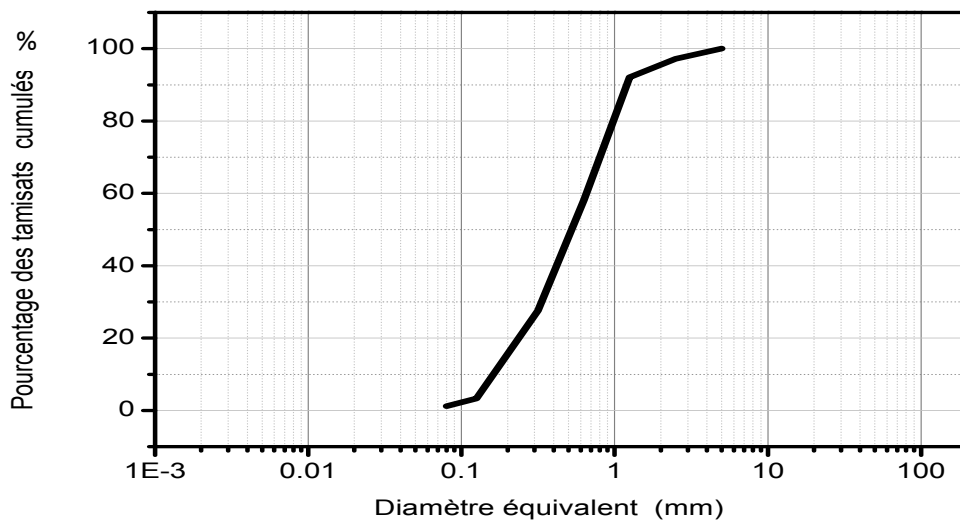


Figure (V-7) : Courbe granulométrique du sable

2.2 < M_f < 2.8 Convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risque de ségrégation limités.

M_f finesse = $\sum(\text{Refus cumulés}) / 100$ Des tamis (5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315 et 0.16)

✓ Le module de finesse était de 2.74 ;



Figure (V-8) : Essai de l'équivalent du sable.



Figure (V-9) : Agitateur horizontal rectiligne pour l'essai déquivalent de sable.

L'équivalent de sable ($E_S = 83\% - E_{S,P} = 80\%$) présente un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

V.2.3.Granulats**V.2.3.1.Origine : gravier**

On a utilisé un granulats provenant d'un gisement très important. Ce dernier est constitué de calcaire compact et dur, de couleur bleue.

Cette carrière « kbouba » se situe à Oued Lili elle s'éloigne de la ville de Tiaret d'environ 25km (Gravier 3/8) et gravier (8/15)

V.2. 3.2.Caractéristiques physiques**Figure (V-10) : Essai de la masse volumique du gravier 3/8**

✓ La masse volumique: $\gamma_g = 1358 \text{ kg/m}^3$



Figure (V-11) : Essai de la masse spécifique du gravier. (3/8)

✓ la masse spécifique $\rho_g = 2542 \text{ kg/m}^3$

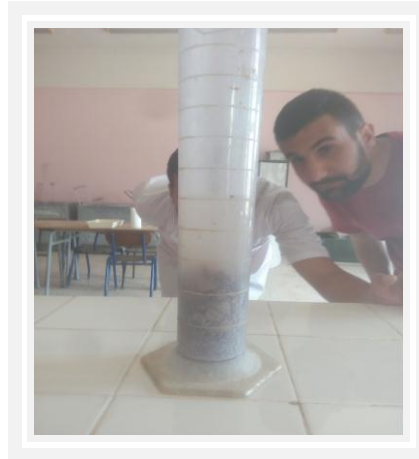


Figure (V-12) : Essai de la masse volumique du gravier. (8/15)

✓ La masse volumique: $\gamma_G = 1418 \text{ kg/m}^3$

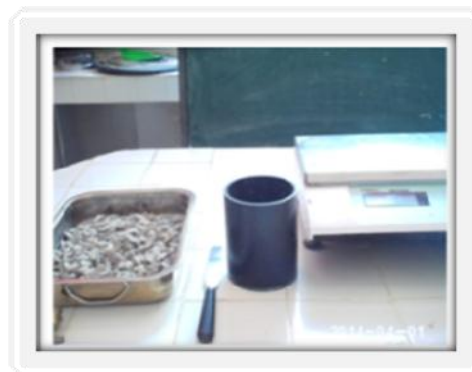


Figure (V-13) : Essai de la masse spécifique du gravier. (8/15)

✓ La masse spécifique $\rho_G = 2608 \text{ kg/m}^3$

L'analyse granulométrique du gravier est fournie dans la figure (V-14)



Figure (V-14) : Essai de l'analyse granulométrique du gravier. (3/8, 8/15)

Tableau (V-2) : Analyse granulométrique du gravier de fraction. (3/8)

Tamis (mm)	Refus persiels (g)	Refus cumulés(%)	Tamisats (%)
8	0	0	100
6.3	82	51.250	48.75
5	386	75.375	24.625
4	276	92.625	7.375
3.15	83	97.810	2.19
Fond	34	99.937	0.063

Tableau (V-3) : Analyse granulométrique du gravier de fraction. (8/15)

Tamis (mm)	Refus persiels (g)	Refus cumulés(%)	Tamisats (%)
16	54	1.687	99
12.5	1465	47.468	52
10	1358	89.906	10
8	267	98.25	1
Fond	44	99.62	0

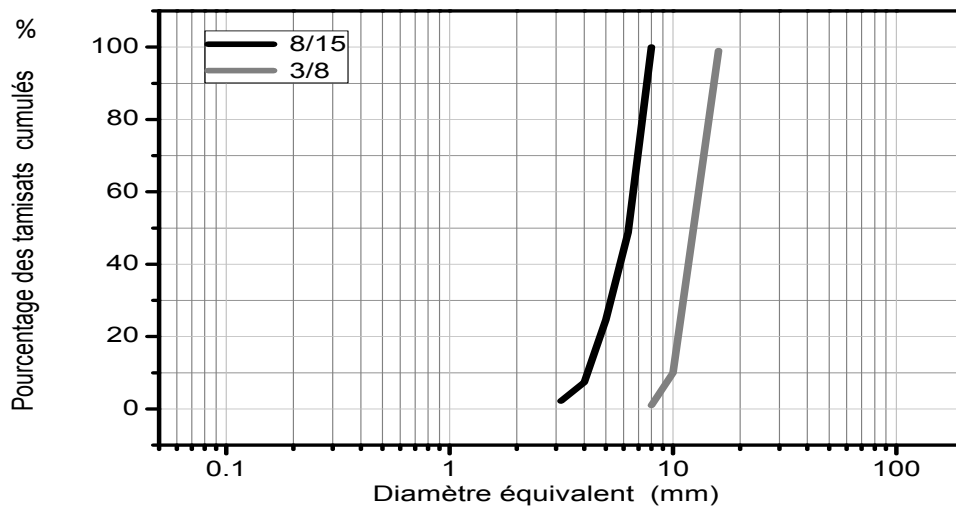


Figure (V-15) : Courbe granulométrique du gravier. (3/8, 8/15)

V.2.4.L'eau de gâchage

L'eau utilisée est celle de robinet maintenue à la température de la pièce .

V.2.5.Superplastifiants

La société Granitex (Alger) met sur le marché deux grand type d'adjuvants fluidifiants, et plastifiant (appartiennent à la famille des super plastifiants qui sont généralement utilisés dans la fabrication de B.H.P) .Ce sont d'une part les medafluids SF et SFA à base naphtalène sulfonates, et d'autre part les medaplasts SP à base de résine mélanines.



Figure (V-16) : Superplastifiants MEDAFLOW 30.

V.2.6.Ajout minéraux

la fumée de silice est aussi appelée micro silice ou fumée de silice condensée, mais le terme " fumée de silice " est le plus généralement utilisé, c'est un sous – produit des usines de fabrication d'alliages de silicium et de ferro silicium obtenu dans un four à arc à partir de quartz de grand pureté et de charbon.



Figure (V-17) : fumée de silice.

V.3. Proportion des matériaux :

Après avoir cherché à distinguer les constituants aptes à rentrer dans la composition des B.H.P, il faut déterminer leur dosage, en vue d'obtenir une certaine maniabilité et une résistance mécanique, et à long terme, une certaine durabilité.

Les B.H.P sont des matériaux dont les résistances caractéristiques sont le plus souvent supérieures à 60.58 MPa à 28 j. Leur squelette granulaire représente un bon compromis entre l'économie, qui pousse à l'utilisation des ressources locales et exigeance d'une certaine qualité. Ce sont par ailleurs des bétons à faible dosage en pate interstitielle (350 à 400 Kg de ciment).

Cependant, le béton à l'état frais comprend deux phases : une phase solide constitué du squelette inerte (granulat et sable) et une phase qu'on peut assimiler à un liquide viscoplastique, formée par l'eau, le ciment et les additifs organiques. Par le mélange de ces deux phases, on veut chercher à reconstituer une roche massive, qui se caractérise par une porosité quasi-nulle, donc une meilleure durabilité à long terme. [26]

V.4. Formulation du béton témoin

On entend ici par le béton témoin un béton proche de ceux qu'on emploie habituellement. Les proportions du squelette granulaire de B.H.P et du béton témoin seront les mêmes. Par contre, les formulations diffèrent au niveau de (dosage en , eau et adjuvant).

L'optimisation du squelette a été effectuée selon la méthode "BARON-LESAGE" (La troisième combinaison découlait de l'application de la méthode de DREUX [26] (courbe granulaire de référence)

Fixant les quantités (C et E en kg/m^3), il faut donc trouver les poids de sable, granulats moyen (tranche 3/8) et grossier (tranche 8/15)

Tableau (V-4) : Composition d'un m³ de béton ordinaire.(en kg)

Granulats Concassés		Sable	Ciment	Eau	E/C
3/8	8/15	Guelta	Awted	De robinet	
501	710	524	400	200	0.5

V.5.Formulation du B.H.P

Cette formulation diffèrent au niveau de l'adjuvant ,et ajout minéraux utilisés (catégorie, et dosage).

Tableau (V-5) : compositions d'un B.H.P. (kg/m³)

Granulats Concassées		Sable	Ciment	Adjuvant		Eau	E/C
3/8	8/15	Guelta	Awted	La fumée de silice	Superplastifiant	Robinet	
501	710	524	400	6%	1.5%	152	0.38

V.6.Fabrication des échantillons

Les bétons ont été confectionnés dans un malaxeur à axe vertical de capacité 50 litres permettant de couler une gâchée de 6 éprouvettes.

Le cycle de fabrication que nous avons suivi est défini comme suit :

- ✓ mélange à sec des ingrédients pendant 60s ;
- ✓ introduction de l'eau de gâchage avec le 1/3 de super plastifiant ;
- ✓ malaxage pendant 90 s ;
- ✓ introduction des 2/3 restants de super plastifiant ;
- ✓ malaxage 30s.

Le tout étant malaxé pendant trois minutes.

A la fin du malaxage, le béton est mise en place dans les moules correspondant aux différentes éprouvettes et piqués par une tige d'acier de diamètre 16 mm. Chacune d'entre elles étant vibrée verticalement pendant 30 secondes figure (V-18).



Figure (V-18) : Malaxage du béton

V.7. Propriétés des bétons frais**V.7.1.Composition**

Lorsqu'on a établi la composition des bétons frais qu'on va étudier (les quatre séries de bétons) on a essayé de conserver tous les paramètres constants sauf la quantité d'eau de gâchage. Ces paramètres sont : la quantité de granulats et ciment.

Le dosage en eau a été limité 200 l/m^3 , pour le béton témoin pour deux raisons : d'une part, par l'emploi du ciment à forte teneur en C_3A , et d'autre part des granulats angulaires. En effet, cette forme trop accidentée n'est pas recommandée pour la raison qu'elle nécessite beaucoup d'eau.

Ceci contribue à faciliter et à développer le dialogue entre les chercheurs, les concepteurs et les constructeurs dans la mesure où leurs soucis communs sont l'innovation, la qualité et l'économie.

En générale, un ciment à forte teneur en C_3A a tendance à consommer beaucoup d'eau pendant les premières minutes qui suivent le gâchage et perturber le maintien de la maniabilité du béton dans le temps. Ainsi, cet inconvénient permet

de modifier le comportement rhéologique du béton frais, quelque soit la quantité de

superplastifiant utilisée. Il est recommandé d'avoir une teneur C_3A inférieure à 8% dans un ciment utilisé pour la formulation d'un B.H.P.

On remarque aussi que la meilleure répartition du superplastifiant (introduction dans l'eau de gâchage+ introduction du restant dans le malaxeur) se trouve être $1/3 + 2/3$. Par conséquent, on a pu obtenir un béton fluidifiant après l'ajout des $2/3$ de superplastifiant (30s avant la fin de malaxage).

V.7.2.l'ouvrabilité du béton frais

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité (maniabilité), qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci. Un béton frais doit être facilement maniable et facile à mettre en place. Il doit être aussi homogène et cohésif. Pour remplir toutes ses qualités, les constituants du béton doivent être soigneusement mélangés.

Il existe plusieurs facteurs qui affectent la maniabilité d'un béton:

- ✓ Méthode et durée de transport
- ✓ Quantité et caractéristiques des composants (liants, granulats)
- ✓ Forme, granulométrie et type de granulats
- ✓ Le volume d'air
- ✓ Le dosage en eau

Un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autres un temps d'écoulement.

V.8. Affaissement au cône d'Abrams

Cet essai, consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique du béton frais. L'essai au cône d'Abrams est simple à réaliser et nécessite un cône et une tige. Le moule tronconique sans fond est de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure.

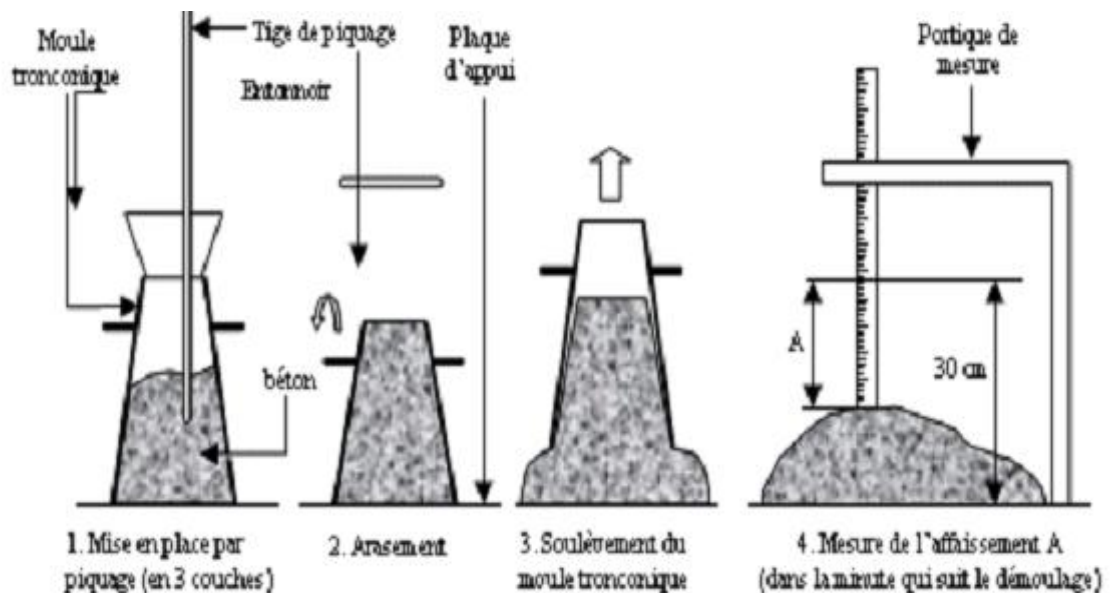


Figure (V-19) : Test d'affaissement Au cône d'abrams.

L'essai d'affaissement au cône caractérise bien la consistance d'un béton ce qui

permet le classement approximatif indiqué au Tableau (V-6).

Tableau (V-6) : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	



Figure (V-20) : Essai d'affaissement au cône d'Abrams

Tableau (V-7) : L'affaissement du béton. (BO, BHP)

Temps (jour)	L'affaissement de BO	L'affaissement de BHP
7	6.5	9.1
14	4.5	10
21	4.9	8.6
28	6	8.4

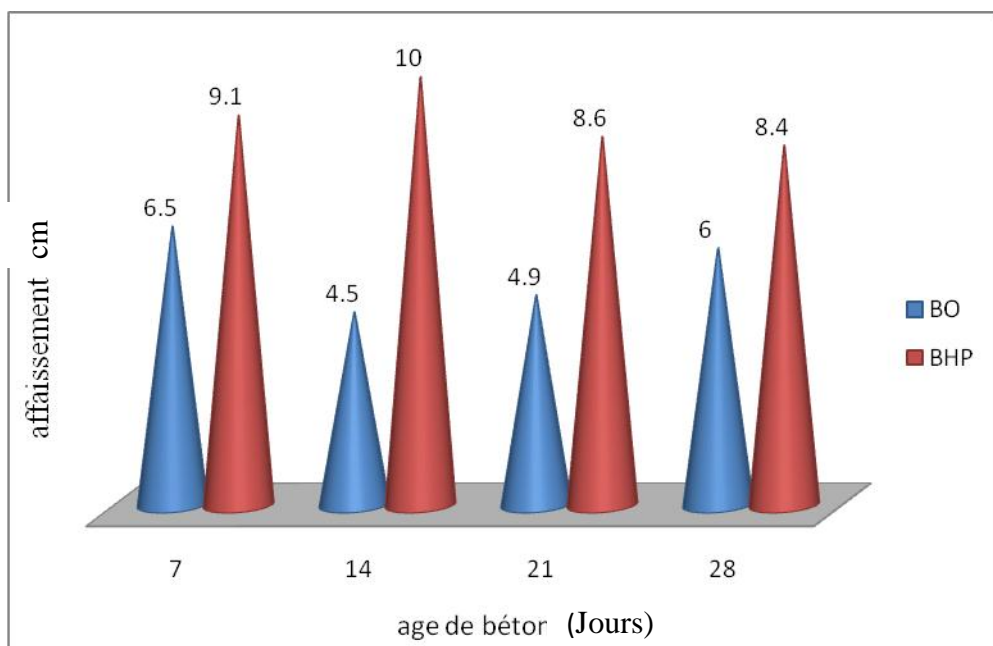


Figure (V-21) : Variation de l'affaissement du béton (BO, BHP)



Figure (V-22) : Vibration des éprouvettes cylindriques et prismatiques

V.9.Démoulage et conservation des échantillons

Les éprouvettes étaient démoulées après 24 heures, et sont ensuite conservées jusqu'à la date des essais, on a choisi de les conserver dans l'eau. (figure V-23)



Figure (V-23) : Démoulage et Conservation les éprouvettes. (cylindriques et prismatiques)

V.10.Surfaçage des éprouvettes

Seuls les cylindres étaient surfacés. Le surfacage fait par l'emploi d'une nouvelle technique (boite à sable), ou disque néoprène crée un certain confinement aux bouts des cylindres pour éviter leur extension latérale et ainsi leur détérioration.

Il permet aussi de rendre les plans d'application de la force de compression perpendiculaire à l'axe longitudinal des cylindres. Cela permet de réduire, voire même annuler l'excentricité des cylindres (compression simple) .



Figure (V-24) : Disque néoprène Ø 16 cm.

V.11.Essai sur béton durci

Lors des essais sur le béton durci, on a déterminé les résistances en compression simple, et résistances en traction par flexion (trois points).

V.11.1.Détermination de la résistance à la compression (f_{cj})

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

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.

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.



Figure (V-25) : Essai de compression simple sur des éprouvettes cylindriques.

Tableau (V-8) : Résistances moyennes en compression de BHP à différentes dates.

Age	7j	14j	21j	28j
Résistance moyenne en compression (MPa)	38.40	41.95	46.18	60.58

Tableau (V-9) : Résistances moyennes en compression de BO à différentes dates.

Age	7j	14j	21j	28j
Résistance moyenne en compression (MPa)	20.73	22.59	23.46	38.33

V.11.2.Détermination de la résistance à la traction par flexion :

Les essais sont conduits par flexion « trios points » c’est l’essai le plus couramment utilisé ,il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de coté (a=10cm) et de longueur (4a=10cm).

Pour une charge totale **P** le moment de flexion constant entre les deux points d’application de la charge est :



Figure (V-26) : Essai de traction par flexion trois points sur des éprouvettes prismatiques.

Tableau (V-10) : Résistance en traction par flexion de BHP à différentes dates.

Age	7j	14j	21j	28j
Résistance en traction par flexion MPa	4.90	5.54	5.80	6.74

Tableau (V-11) : Résistance en traction par flexion de BO à différentes dates.

Age	7j	14j	21j	28j
Résistance en traction par flexion MPa	2.82	3.40	3.60	3.71