

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la A Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
Département De Génie Civil

Mémoire De MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Thème

**Étude expérimentale de dalles en béton
renforcées par matériaux composites,
soumises au poinçonnement**

Réalisé par :

Mlle Hamadache Lynda

proposé et dirigé par :

Mme Bouzeboudja .F

Année universitaire : 2015/2016

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale

Partie bibliographique

Chapitre I : le poinçonnement des dalles.....	2
1- Comportement mécanique des dalles.....	2
1-1 Introduction.....	2
2-Comportement des dalles sous charge concentrée.....	4
2-2.Types de poinçonnement.....	4
2-3.Modes de rupture par poinçonnement.....	6
3- 3-Méthodes de réparation	7
Chapitre II : Généralité sur le béton	13
1-Définition du béton.....	13
2-Les différents constituants du béton.....	13
3-Rôle des différents éléments constituant le béton.....	15
4-Les types de bétons	16
5-Propriétés des bétons.....	16
6-Formulation des bétons	23
6-1 .Définition.....	23
6-2. Les méthodes de composition des bétons.....	23
7-Caractéristiques mécaniques du béton et acier.....	26
7-1-1-Résistance à la compression	27
7-1-2 Résistances à la traction du béton :.....	28
7-1-3 Déformations longitudinales du béton.....	28

Chapitre III : les matériaux composites	30
1-Introduction.....	30
2- Présentation des matériaux composites.....	30
2-1.matrices :.....	30
2-2. Les charges.....	30
2-3 .Les additifs.....	32
2 -4. Renforts.....	33
2-4-1 Principaux matériaux de renfort.....	33
2-4-2 Les caractéristiques recherchées pour les renforts	33
2 -4-3 Architecture des renforts :.....	33
3-Les matériaux composites structuraux	35
4. Les caractérisations d'un matériau composite	40
5-Les propriétés des matériaux composites	40
6-classifications des matériaux composites :.....	40
7-Mise en œuvre et procédés.....	41
8-Avantages et limitations des matériaux composites	46
Chapitre IV : Investigation expérimentale	47
I- L'étude de la composition du béton.....	47
1-Le béton est constitué	47
2-Analyse granulométrique.....	47
2.1-principe de l'essai	48
2 .2-Equipements utilisés	48
2-3- Description de l'essai	48
2.4-Module de finesse	50
2-5.Masse volumique absolue.....	50
3-Composition du béton par la méthode de Dreux-Gorisse.....	50
3 .1-Principe de la méthode.....	51
3-2.Mode opératoire	52
3-4 .Choix approprié du coefficient granulaire G	52
3-5-Choix de la classe vraie de ciment	52
3-6.Dosage en ciment par m ³ de béton.....	53

3-7.Tracé de la courbe granulaire de référence	53
3-7.La ligne de partage	55
3-8.Coefficient de compacité	55
3-9.Dosage des granulats.....	56
4-Les fibres utilisées.....	57
5-Quantité utilisés pour la réalisation des différentes gâchées	59
6-Essais mécanique	63
6-1.Essais de compression	63
2-Essais de poinçonnement.....	65

Conclusion général

Références bibliographiques

Remerciements

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements à *Madame BOUZEBODJA* Professeur à l'université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou pour avoir dirigé ce travail, pour sa disponibilité constante et ses encouragements ;

Mes remerciements les plus cordiaux s'adressent au président et aux membres de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail ;

Je tiens à remercier aussi toute notre promotion pour leur soutien, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail à

Mes très chers parents

Toute ma famille

Tous mes amis (es) et à toute la promotion

Liste des figures

Figure I.1. Phases successives du comportement d'une dalle en flexion	3
Figure I-2 : Photo d'une rupture par poinçonnement centré et coupe schématique des principales fissures observées lors de la rupture.....	5
Figure I-3 : Etat de fissuration et fissures de poinçonnement à la rupture (vue en plan de la dalle).....	6
Figure I-4: Mode de rupture par poinçonnement.....	7
Figure I.5. Réparation de poutre par adjonction d'armature	8
Figure I.6 : Réparation de poutre par béton projeté	9
Figure I.7 Renforcement d'un viaduc par tôles collées.....	11
Figure I.8 : Différents types de réparation par précontrainte additionnelle	11
Figure II-1 : Essai affaissement au cône d'ABRAMS	17
Figure II-2 : Essai sur étalement du béton autoplaçant	18
Figure II-3 : Essai sur la résistance à la compression.....	19
Figure II-4 : variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes.....	20
Figure II-5 : Différents essais sur les résistances d'un béton en traction	21
Figure II-6 : courbe représente le phénomène de retrait et fluage.....	22
Figure II-7 : Essais de compression et de traction sur éprouvettes 16*32	26
Figure II-8 : Evolution de la résistance en compression d'un béton en fonction de son âge	27
Figure II-9 : diagramme expérimental et diagramme de calcul du béton	28
Figure II-10 : Comportement De L'acier En Traction	29
Figure III-1: Différentes familles de matrice.....	31
Figure III-2 : pli unidirectionnels.....	33
Figure III-3 : pli unidirectionnels.....	36
Figure III-4 : toile ou taffetas	36
Figure III-5 : serge	37
Figure III-6 : satin.....	37

Figure III -7 : multiaxial	37
Figure III-8 : tissu hybride carbone- aramide	38
Figure III-9 : stratifie	38
Figure III-10 : Différents types de stratifie	39
Figure III-11 : les sandwiche	40
Figure III-12: moulage au contact	43
Figure III-13: moulage par projection simultanée.....	44
Figure III-14 : moulage par enroulement filamentaire.....	45
Figure IV-1 : tissu de verre	58
Figure IV-2 : Grillage polypropylène	58
Figure VI-3: treillis soudé.....	59
Figure IV-4 : forme des moules	60
FigureVI-5 : Malaxeur et table vibrante	61
Figure VI-6 : réalisation des dalles multicouche	63
Figure IV-7 : courbe contrainte déformation de béton témoin.....	65
Figure IV-8 : Machine d'essai IBERTEST	66
Figure IV-9 : Force déplacement de béton témoin	67
Figure IV-10 : Courbe force course béton armé	67
Figure IV-11 : La courbe Force course de béton + verre	68
Figure IV-12 : Courbe force course de béton + pp.....	68
Figure IV-13 : courbe force course de béton + tissu de verre et grille métallique	69
Figure IV-14 : courbe force course de béton armé + tissu de verre	69
Figure IV-15 : courbe force course de béton armé avec grille de pp.....	70
Figure IV-16: comparaison entre béton armé avec béton+pp.....	70
Figure IV-17 : comparaison entre le béton verre et béton armé.....	71
Figure IV-18 : comparaison entre béton armé avec béton de grille métallique.....	71
Figure IV-19 : Comparaison entre le béton témoin et béton armé	72
Figure IV-20: comparaison entre béton témoin et béton tissé.....	72
Figure IV-21: histogramme de comparaison entrebéton témoin et béton tissé.....	73
Figure IV-22 : comparaison entre béton témoin et béton armé de de fibre.....	74
Figure IV-23 :histogramme de comparaison entre béton témoin avec béton armé de fibre ...	74

Liste des tableaux

Tableau II-1 : valeurs optimales d'après ABRAMS du module de finesse des compositions granulaire des bétons courants.....	24
Tableau III-1 : critères essentielles des matrices TD et TP.....	32
Tableau III-2 : Performances comparées des différents types d'architecture	35
Tableau III-3 : Différents types de matrice.....	41
Tableau IV-1 : analyse granulométrique du sable.....	49
Tableau IV-2 : analyse granulométrique pour le gravier (3/8).....	49
Tableau IV-3 : Masse volumique absolue des granulats.....	50
Tableau IV-4 : valeurs approximatives du coefficient granulaire.....	52
Tableau IV-5 : valeur du coefficient de compacité γ	56
Tableau IV-6 : composition final pour 1 m ³ de béton	57
Tableau IV-7 : La moyenne des deux éprouvettes cylindriques : béton témoin.....	64
Tableau IV-8 : mode de rupture des dalles.....	75

Résumé

Le poinçonnement des dalles en béton armé est un phénomène qui engendre la rupture de la dalle dans la région autour de la zone d'application des forces concentrées. Cette rupture est caractérisée par une grande fragilité, ce qui rend ce phénomène particulièrement dangereux.

L'objectif de cette étude consiste à expérimenter une nouvelle technique de renforcement par réalisation des dalles en béton armé par des grilles et tissu de fibre et observer le comportement mécanique de dalle armée sou une charge de poinçonnement centré.

Ce travail consiste a la réalisation des dalles de dimensions (36x36x3) armées de grilles de polypropylène, treillis soudé et tissus de verre.

Des essais de poinçonnement ont été effectués sur ces éprouvettes à l'âge de 28 jours. L'interprétation et la comparaison des différents résultats nous ont permis de constater que le polypropylène améliore la déformabilité du béton armé et le verre augmente la résistance du béton.

La résistance au poinçonnement des dalles en béton armé est un thème très actuel. Des accidents récents ont montré la dangerosité du phénomène, caractérisé par une rupture fragile difficile à prévoir et qui conduit à une propagation rapide de la rupture avec effondrement complet de la dalle.

Bien que le phénomène du poinçonnement des dalles en béton armé ait été étudié intensivement depuis les années 60, le problème ne peut pas encore être considéré comme résolu.

Les différentes méthodes de réparation ou de renforcement structural fréquemment mise en œuvre consistent à projeter du béton fibré, à plaquer et à coller des Tôles en acier sur les faces tendues de structures en béton armé suivant le procédé de l'Hermitte, et à appliquer des précontraintes additionnelles consiste en un ajout de force dans des ouvrages existants en vue soit de leur redonner leur état de service initial soit de leur donner un nouvel état de service. Avec des armatures précontraintes (câble ou composite), et la technique de renforcement d'ouvrage par collage externe de polymère renforcés de fibre (FRP), ces techniques classiques ont montré leurs limites sur le comportement à long terme (oxydation des tôles d'acier, durabilité du béton projeté, poids lourd,...) et le problème de décollement

La technique de renforcement par réalisation des dalles multicouches en béton armée par des tissus de fibres. Afin d'augmenter la capacité portante des dalles soumises au poinçonnement, est l'objet de notre étude qui est basée sur l'observation du comportement mécanique de dalles armées par tissus de fibre de verre, polypropylène, et acier ,sou une charge de poinçonnement centrée.

L'étude s'est déroulée suivant deux parties principales :

La première partie est consacrée à l'étude bibliographique qui fait une synthèse sur le poinçonnement des dalles, et les bétons en général, et matériaux composites.

Dans la deuxième partie qui est l'étude expérimentale, consiste a la réalisation des essais de poinçonnement sur les différents spécimens confectionnés, présentation et discussion des résultats obtenus.

I-) Comportement mécanique des dalles :**1-) Introduction:**

Les dalles constituent un des éléments de structure le plus classique. Du point de vue mécanique, une dalle est un élément bidimensionnel de structure plan, d'épaisseur faible par rapport à ses dimensions dans le plan. Elle résiste aux efforts auxquels elle est soumise par des mécanismes de flexion dans une ou deux directions suivant sa géométrie et ses conditions aux limites. ELHOUSSAIN R. [1]

Il est possible de classifier les dalles en fonction de leur système porteur. On peut distinguer :

- Les dalles portant dans une direction (dalles sur deux appuis). Ces dalles ont un comportement unidirectionnel et se comportent essentiellement comme des poutres, et se dimensionnent selon les mêmes principes,
- Les dalles portant dans deux directions (dalles sur quatre appuis). Ces dalles ont un comportement bidirectionnel et transmettent la charge à laquelle elles sont soumises dans les deux directions du plan en direction des appuis,
- Les dalles portant sur des appuis ponctuels, ces appuis sont généralement constitués de colonnes en béton ou en acier.

En fonction de leur élancement (rapport hauteur/portée), les dalles peuvent être classifiées en trois catégories : dalles minces, dalles d'épaisseur modérée et dalles épaisses.

Le comportement flexionnel des dalles comprend plusieurs phases qu'il est important de distinguer. ELHOUSSAIN R. [1]

❖ Phase élastique linéaire:

Dans cette première phase de chargement, la dalle se comporte pratiquement comme une structure dotée d'un comportement élastique linéaire.

❖ Phase de fissuration

La fissuration du béton apparaît dans les zones les plus sollicitées pour s'étendre sous charge croissante aux autres zones pour lesquelles le moment de fissuration est dépassé. La rigidité des sections fissurées est réduite, ce qui conduit à une modification de la répartition des moments de flexion, les moments dans les zones non fissurées augmentent plus, pour un même accroissement de charge, que dans la phase élastique. Tant que l'écoulement de l'armature ne se produit pas, l'ouverture des fissures est limitée.

❖ Phase d'écoulement:

L'armature s'écoule progressivement dans les zones où les moments sont les plus élevés. Les sections où l'acier d'armature atteint sa limite d'écoulement continuent de se déformer, mais le moment de flexion n'y augmente plus, ce qui cause une redistribution des moments, plus importante que dans la phase précédente. Les zones d'écoulement de l'acier s'étendent progressivement et se concentrent le long de bandes étroites où se produisent les fissures les plus ouvertes. Ces fissures se développent suivant un schéma qui dépend notamment de la géométrie de la dalle, des conditions d'appuis, de la répartition des armatures et du mode de chargement.

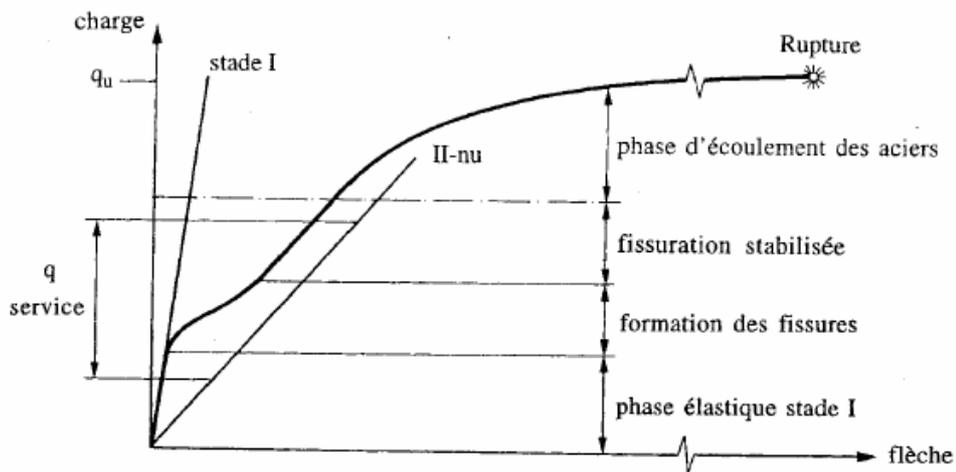


Figure I.1 : phases successives du comportement d'une dalle en flexion. ELHOSSAIN R.

[1]

❖ Phase de rupture :

Lorsque les lignes d'articulation ont atteint un stade de développement tel que la dalle est transformée en un assemblage de sous-structures, une très légère augmentation des charges conduit à un état d'équilibre instable provoquant l'effondrement de la dalle.

Dans le domaine élastique, l'équation différentielle de Lagrange donne la relation entre la déformée $w(x,y)$ et la charge appliquée $q(x,y)$. Selon les conditions d'appuis, on trouve différentes solutions, le plus souvent sous forme de séries de Fourier (solution de Navier pour les dalles articulées sur leurs quatre cotés, solution de Maurice Lévy pour les dalles articulées sur deux cotés opposés).

Dans le domaine post-élastique, la méthode cinématique est applicable aux dalles en partant d'un mécanisme admis a priori, c'est la théorie des lignes de rupture développées initialement par JOHANSEN.

2-) Comportement des dalles sous charge concentrée:

Lorsqu'une force concentrée (réaction d'une colonne) agit normalement au plan moyen d'une dalle en béton armé, il est nécessaire de vérifier que son introduction se fasse en toute sécurité pour éviter une rupture soudaine par pénétration à travers la dalle, ce type de rupture est appelé rupture par poinçonnement. Cette forme de sollicitation se rencontre essentiellement dans les planchers-dalles, les planchers-champignons ou lorsqu'une grande charge est transmise à une dalle par des appuis ponctuels. GASTON K. [2]

2-1) Définition du poinçonnement:

Le terme poinçonnement est utilisé pour définir une rupture localisée d'une connexion entre une dalle et une colonne. La dalle se rompt le long d'une surface inclinée qui s'étend du feuillet en compression au nu de la colonne jusqu'au feuillet en traction à une certaine distance de la colonne. La rupture est matérialisée par une fissure de traction inclinée d'un angle de 25° à 35° par rapport au feuillet moyen de la dalle. Cet angle varie encore davantage selon si l'on utilise une armature de poinçonnement ou de précontrainte. GASTON K. [2]

2-2) Types de poinçonnement:

Poinçonnement centré ou axisymétrique:

Dans les cas où 'seule une charge verticale est transmise de la dalle à la colonne. La surface inclinée prend la forme d'un cône tronqué (**Figure : I-2**). On parle alors de poinçonnement centré ou axisymétrique. La figure montre une rupture typique par poinçonnement près d'une colonne intérieure. La première fissure est une fissure tangentielle en face supérieure causée par le moment flexion. Elle est située à proximité immédiate de la colonne. Par la suite, des fissures radiales apparaissent au nu de la colonne et s'éloignent progressivement avec l'augmentation de la charge verticale. Ces fissures superficielles sont suivies par des fissures inclinées progressant à l'intérieur du béton pour un niveau de charge correspondant à 50-70% de la charge ultime. Ces fissures inclinées finissent par se localiser en une fissure principale. Dite fissure de poinçonnement. Cette fissure n'est visible en surface que lorsque la dalle atteint sa charge ultime. L'enrobage de béton est alors arraché par les barres d'armatures longitudinales en traction.

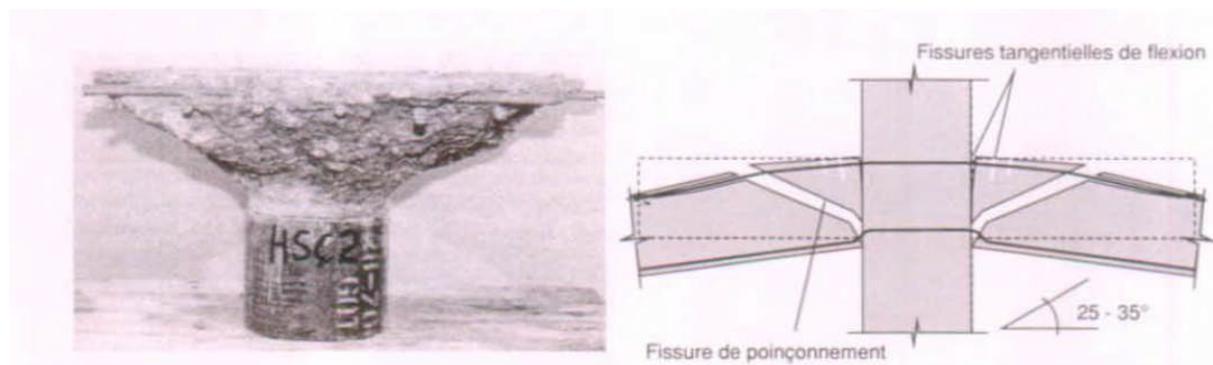


Figure I-2 : Photo d'une rupture par poinçonnement centré et coupe schématique des principales fissures observées lors de la rupture. GASTON K. [2]

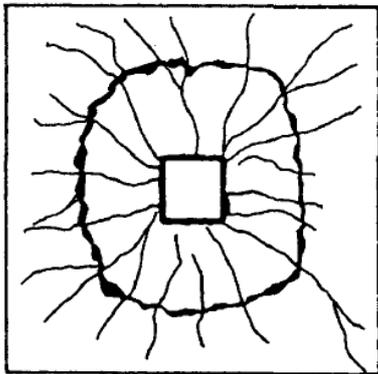
Pour des taux d'armature usuels, une partie des barres longitudinales dans la dalle près de la colonne atteignent leur limite d'écoulement avant la rupture par poinçonnement.

Cependant, les déformations subies par la dalle restent faibles et la rupture par poinçonnement est soudaine et instantanée. Pour des taux d'armature faibles, il est tout possible que toutes les barres d'armature atteignent leur limite d'écoulement. Dans ce cas, la rupture par poinçonnement ne peut pas avoir lieu puisque la dalle se rompt avant par flexion.

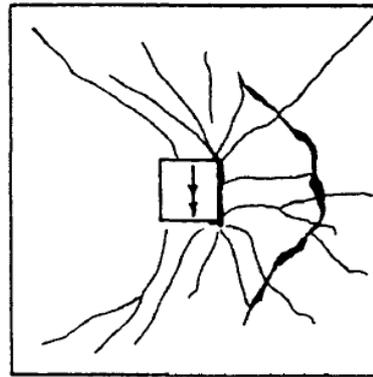
Dans ce cas les déformations subies par les dalles peuvent être plus importantes.

Poinçonnement excentré :

Dans les cas où la dalle transmet une charge verticale et un moment de flexion, on parle de poinçonnement excentré. L'effet combiné de la charge verticale et du moment peut être remplacé par une charge verticale excentrée par rapport à l'axe de la colonne. Dans ce cas, la surface de rupture se forme du côté de la colonne où l'excentricité est appliquée. Cette surface n'est plus nécessairement un cône tronqué, mais peut devenir asymétrique autour de la colonne suivant l'intensité du moment de flexion. Cette asymétrie grandit avec l'augmentation de l'excentricité.



a) Force verticale uniquement



b) Moment de flexion uniquement

**Figure I-3 : État de fissuration et fissures de poinçonnement à la rupture
(vue en plan de la dalle). GASTON K. [2]**

La figure (a) montre une rupture par poinçonnement centré résultant uniquement d'une force verticale, tandis que la figure (b) montre une rupture par poinçonnement résultant uniquement d'un moment de flexion. Lorsqu'une charge verticale et un moment de flexion sont appliqués simultanément, on se trouve alors dans une situation intermédiaire entre la figure (a-b).

Les séquences de fissuration sont les mêmes qu'en cas de poinçonnement centré si ce n'est que les fissures se concentrent plutôt du côté où la force est appliquée. Plus l'excentricité n'est importante. Plus la rupture est ductile. Cela peut se comprendre par le fait que le béton ne cède pas simultanément tout autour de la colonne.

2-3) Mode de rupture par poinçonnement:

Le mode de rupture par poinçonnement est fort complexe et fait toujours l'objet de tentatives d'explications de la part des chercheurs, les principaux points de son développement sont actuellement établis. GASTON K. [2]

- Des fissures tangentielles, de forme circulaire, apparaissent très tôt (sous charge de service) à la face supérieure de la dalle au périmètre de la colonne ;
- Après formation d'une fissure circulaire importante au nu de la colonne, les fissures suivantes sont essentiellement dues aux moments tangentiels. Elles ont donc des trajectoires radiales.
- Des fissures internes en forme de tronc de cône se créant pour des charges de l'ordre de la moitié aux deux tiers de la charge de rupture, sans pour autant influencer la résistance ;
- A l'approche de ruine, les déformations au voisinage des colonnes restent faibles,
- La rupture se produit brutalement, sans déformation préalable significatives : la fissure tronconique entre la dalle et le cône de poinçonnement s'ouvre largement et la fente qui s'ensuit à une rupture subite ;

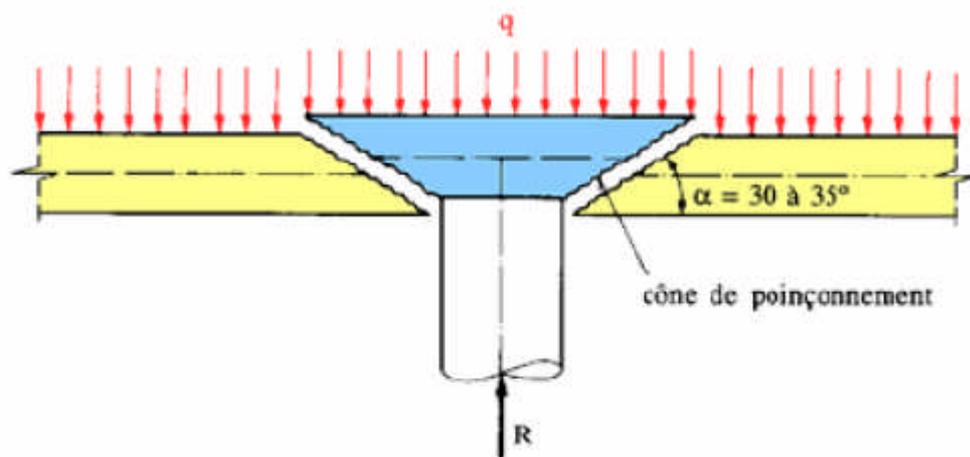


Figure I- 4: Mode de rupture par poinçonnement .GASTON K. [2]

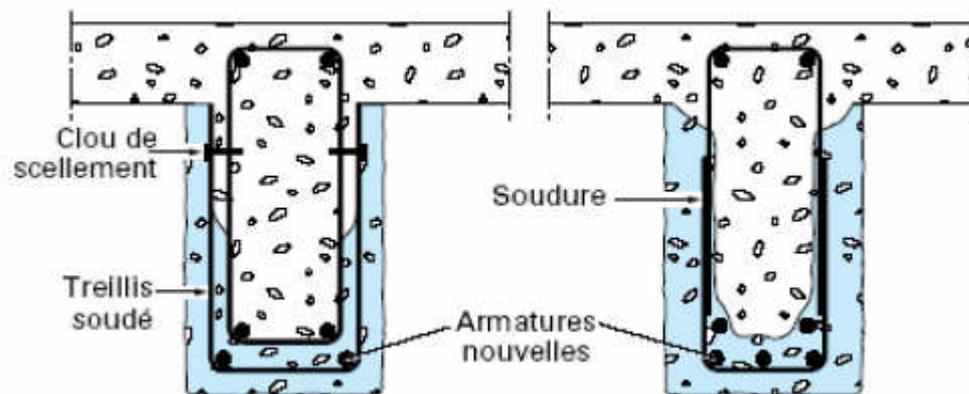
3-Méthodes de réparation :

Le principe du renforcement ou de la réparation consiste en adjonction de matière dans Les zones où les sections sont trop sollicitées.

La notion de RENFORCEMENT ayant pour objectif d'améliorer les performances de la structure vis-à-vis de conditions d'exploitations modifiées ou d'augmenter la durée de vie de l'ouvrage. Différentes technologies de réparation et de maintenance des ouvrages sont couramment utilisées depuis de nombreuses années. ELHOUSSAIN R. [1]

3-1) Renforcement par adjonction d'armature complémentaire

Des armatures complémentaires sont à prévoir lorsqu'il s'agit de remplacer des aciers corrodés ou coupés accidentellement ou lorsqu'il s'agit de renforcer une structure. Les armatures complémentaires doivent s'opposer à la fissuration, et participer à la résistance des sections renforcées. La protection de ces armatures est assurée par un béton coulé ou projeté et leurs jonctions avec les armatures existantes peuvent se faire par des procédés classiques (recouvrement, soudure, manchonnage) (figure I .5).



**Figure I-5: Réparation de poutre par adjonction d'armature
ELHOUSSAIN R. [1]**

3-2) Béton projeté

Cette technique, très au point, utilisée tant pour le renforcement de structures insuffisantes ou défaillantes que pour la réparation d'ouvrage endommagés, exige pour sa mise en œuvre un personnel spécialisé. Le béton projeté peut être, ou non, combiné avec l'adjonction d'armatures complémentaires. La projection est réalisée soit par voie sèche, soit par voie mouillée. Dans le premier cas, la grande vitesse de projection (80 à 100 m/s) fait que le procédé par voie sèche est particulièrement recommandé pour la réparation des ouvrages car il permet d'obtenir un béton très compact. Dans le second cas, la faible vitesse de projection (10 à 40 m/s) rend indispensable l'exécution préalable d'une couche d'accrochage. Après durcissement, le béton projeté possède les propriétés d'un béton coulé, puis vibré. La projection est possible dans toutes les directions, en particulier en plafond (figure I.6).

Les travaux de réparation par béton projeté se regroupent en deux catégories : les réparations superficielles et les réparations profondes. Grâce à son adhérence au support, à ses caractéristiques très proches de celles du béton coffré, aux possibilités de mise en place et d'enrobage d'armatures de renfort qu'il procure, le béton projeté permet de réaliser économiquement de telles réparations.

La difficulté de l'emploi de cette méthode provient essentiellement du mode d'application et de mise en œuvre (matériels, main d'œuvre et problèmes d'hygiène et de sécurité).

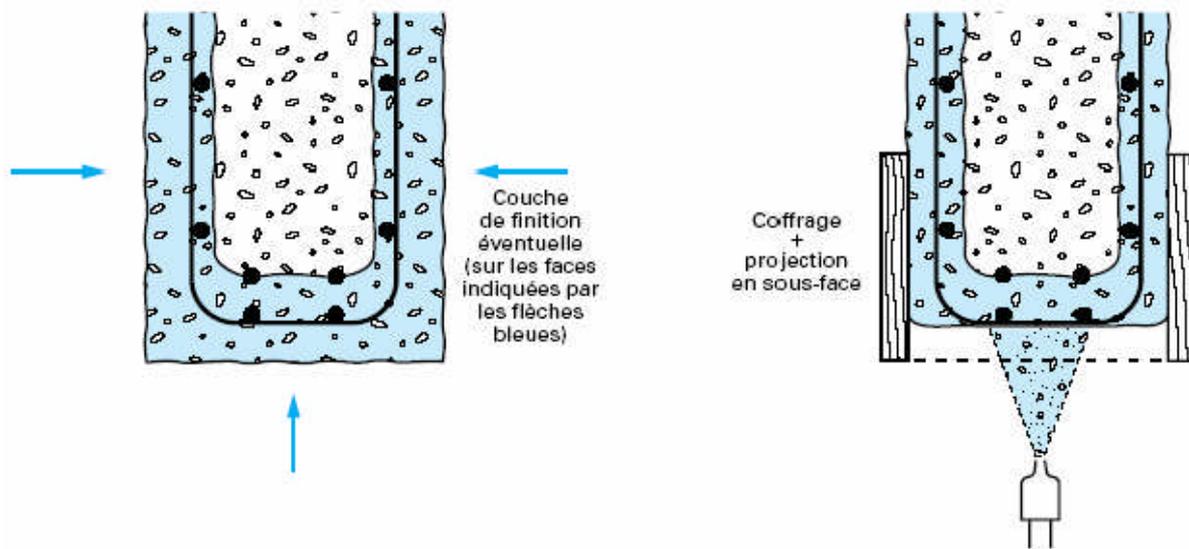


Figure I-6 Réparation de poutre par béton projeté .ELHOUSSAIN R. [1]

3-3) Tôles collées

Le béton projeté peut être, ou non, combiné avec l'adjonction d'armatures complémentaires. La projection est réalisée soit par voie sèche, soit par voie mouillée. Le béton projeté possède les propriétés d'un béton coulé, puis vibré. La projection est possible dans toutes les directions, en particulier en plafond.

La difficulté de l'emploi de cette méthode provient essentiellement du mode d'application et De mise en œuvre (matériels, main d'œuvre et problèmes d'hygiène et de sécurité).

Le renforcement de structure par plats métalliques, mieux connue sous le nom de procéder l'Hermitte, consiste à coller des plats en acier sur les faces tendues de structures en béton armé. Ainsi, L'Hermitte s'est intéressé, dès le début des années soixante, à l'utilisation de ces composés adhésifs de type époxy polymérisant à froid pour associer béton et acier.

Trois problèmes mécaniques se posent lors de l'utilisation de tôles extérieures collées au béton pour le renforcement des structures :

- la mise en flexion locale de la tôle au voisinage des fissures qu'elle recouvre,
- la répartition des efforts repris par les tôles dans le cas d'utilisation d'empilement,
- la répartition des déformations entre les aciers internes au béton et les aciers collés extérieurement.

L'acier de renfort est constitué, dans la plupart des cas, de tôle d'acier de nuance E24, d'épaisseur de 3 à 5 mm.

Pour que l'adhérence entre l'acier et la colle ait une bonne tenue, les tôles utilisées doivent subir toute leur préparation en usine (découpage, sablage...).

La mise en place des tôles nécessite une très bonne préparation de chantier ainsi qu'une excellente coordination des équipes. Le collage impose un dispositif de serrage pouvant être un étaielement, un serrage par serre-joint ou un serrage par vérins plats. L'emploi de ce mode de réparation est particulièrement limité à cause de sa mise en œuvre difficile et onéreuse.

Ce procédé consiste en un apport d'armatures extérieures soit pour consolider un élément dont les dégradations mettent en péril la résistance, soit pour remplacer des aciers oubliés, ou mal positionnés. La préparation des surfaces, la mise en œuvre des colles, la réalisation du placage, etc., doivent impérativement être confiées à des entreprises spécialisées ou à des laboratoires du fait de la difficulté de la mise en œuvre de cette technique, certains procédés font d'ailleurs l'objet de brevets (Figure I-7)

Dans les locaux devant, du fait de leur destination, présenter une certaine résistance au feu, l'étude mécanique des renforcements doit être complétée par celle de l'isolation thermique permettant de soustraire la colle aux effets des incendies dans les conditions requises.

La colle utilisée est, généralement, une résine époxyde. Son épaisseur est de 0,5 à 1 mm. Les tôles d'acier, de qualité courante, ont une épaisseur limitée à 3 mm. Toutefois, le collage de tôles métalliques présente aussi quelques difficultés :

- sensibilité de l'acier à l'oxydation (il demande donc une protection et un entretien quotidien) ;
- impossibilité de mobilisation de toute la résistance en traction des tôles, même sous faible épaisseur ;

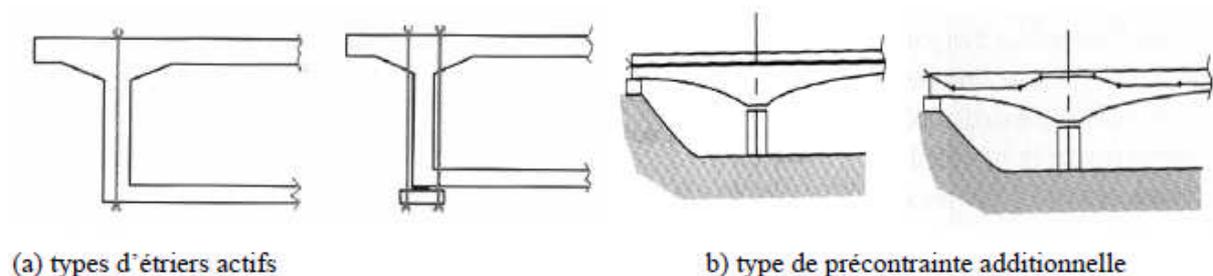
- nécessité d'un collage sous pression (vérins), pour assurer une adhésion suffisante et éviter les bulles d'air dans la couche de résine ;
- impossibilité de généraliser cette technique à des surfaces importantes (masse manipulées trop importantes), ce qui limite d'autant les possibilités de réparation.



Figure I-7 : Renforcement d'un viaduc par tôles collées
ELHOUSSAIN R. [1]

3-4) Précontrainte additionnelle

Contrairement aux techniques présentées ci-dessus et qui consiste en l'ajout de matière (béton ou acier), la précontrainte additionnelle consiste en un ajout de force dans des ouvrages existants en vue soit de leur redonner leur état de service initial, soit de leur donner un nouvel état de service. Elle permet, en effet, d'appliquer des efforts d'une intensité connue, en des points et suivant des directions bien définies, capables de s'opposer aux efforts générateurs des désordres. Elle est réalisée le plus souvent par la mise en œuvre d'armatures de précontrainte (câble ou barres). La précontrainte additionnelle peut être employée pour traiter une grande variété d'ouvrage (ponts, barrages, réservoirs, bâtiment). Cette méthode est particulièrement adaptée au renforcement en flexion et vis-à-vis de l'effort tranchant par l'emploi d'étriers actifs. (Figure I-8).



**Figure I-8: Différents types de réparation par précontrainte additionnelle
ELHOUSSAIN R. [1]**

En revanche, la mise en œuvre de tout ce qui concerne la protection définitive des armatures nécessite un niveau particulier de qualité. De plus, le recours à des unités de plus en plus puissantes pour en limiter le nombre implique une étude particulièrement soignée des zones d'ancrage, très fortement sollicitées.

CONCLUSION :

Le poinçonnement des dalles en béton armé est un thème très dangereux qui est définie une rupture localisée d'une dalle et une colonne qui fait toujours l'objet de tentatives d'explications de la part des chercheurs qui ont trouver des méthodes de réparation ou de renforcement qui ont montré leurs limites sur e comportement a long terme.

II-) Généralité sur le béton :**1-) Définitions de béton :**

Le béton est un matériau de construction qui contient un liant (ciment ou chaux), de l'eau, de sable, des granulats et des adjuvants (retardateurs ou accélérateurs de prise, réducteurs d'eau .Etc.).Il peut être très différent l'un de l'autre selon la nature, les pourcentages des constituants, le malaxage et la mise en œuvre.

2-) Les différents constituants du béton :**2-1) Les ciments:**

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température et le broyage d'un mélange minéral.

Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables forment avec l'eau une pâte capable par « hydratation » de faire prise et de durcir progressivement d'où le nom de liants hydrauliques par opposition avec « liants aériens » qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air. [4]

2-2) Les Granulats:

Les granulats doivent avoir une bonne granulométrie dans le diamètre varie du plus petit au plus gros.

Ils peuvent être :

- ✓ Naturels et roulés (de rivière, de sablières,) de nature siliceuse ou silico-calcaire.
- ✓ Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites ils sont anguleux et durs.

Les granulats peuvent se classer selon les diamètres :

- petits : de 3 à 8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- moyens : de 8 à 15 mm.
- gros : de 15 à 25 mm.
- très gros : de 25 à 40 mm.

2-3) Sable :

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important :

Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ...), de nature siliceuse ou silico-calcaire ;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers)

- sable de laitier ;

- sable d'oxydes de fer, de chromite ;

- sable de briques concassées.

2-4) L'eau de gâchage :

Le «gâchage» est l'opération irréversible d'ajout de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage.

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton.

La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C (masse d'eau / masse de ciment) du mélange.

Le rapport E/C d'un béton courant varie entre 0,4 (qualité supérieure) et 0,6 (béton de fondation).

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement le durcissement (matières organiques telles que huiles, graisses, sucres ...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer....)

2-5) Les adjuvants :

On entend par « adjuvant » un produit qui ajouté au béton en faible quantité permet d'améliorer certaines propriétés ou qualités souhaitées soit sur béton frais soit sur béton durci. Un adjuvant a, en général une action principale d'après la quelle il se trouve défini et classé mais il peut présenter également certaines actions secondaires.

On citera :

- ✓ les plastifiants :(améliorent la maniabilité et l'ouvrabilité)
- ✓ Entraîneurs d'air :(créant dans le béton un très grand nombre de petites bulles ils améliorent essentiellement : la plasticité et l'ouvrabilité, la résistance au gel du béton durci).
- ✓ Accélérateurs :(agissent chimiquement en augmentant la vitesse d'hydratation du ciment.
- ✓ hydrofuges :(améliorent l'étanchéité du béton).

3-) Rôle des différents éléments constituant le béton :

- ✓ Ciment : C'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.
- ✓ L'eau : C'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- ✓ Les granulats : ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va « coller » les granulats.
- ✓ Le sable : il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.
- ✓ Les plastifiants : ils augmentent l' « ouvrabilité » du béton (facilité avec laquelle on peut travailler le béton)

4 -) Les types de bétons :

Le béton varie en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

- **Les bétons courants** : sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics, Ils, présentent une masse volumique de 2500 kg/m³ environ, ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraintes.
- **Les bétons lourds** : dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg /m³servent, entre autre, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- **Les bétons de granulats légers** : dont la résistance peut, néanmoins être élevée, sont employés dans le bâtiment.
- **Les bétons cellulaires** : peuvent répondre aux problèmes d'isolation dans le bâtiment
- **Les bétons fibrés** : plus récents, correspondent à des usages très variés.
- Les bétons à hautes performances (**BHP**), les bétons fibrés à hautes performances (**BFUP**)

5) Propriétés des bétons :

Le béton possède deux comportements : l'état frais et l'état durci. Parmi tous les constituants du béton, l'eau reste l'ingrédient qui peut nuire le plus même si c'est à grâce à l'eau que le béton peut être manipulé. PIERRE T. SERGE S [5]

Réduire son dosage permet :

- D'augmenter la résistance en compression et en flexion ;
- Réduire la perméabilité ;
- Réduire la contraction volumique (retrait de séchage) ;
- Moins de risque d'attaques d'agents agressifs extérieurs ;

La réduction d'eau rend par contre le béton moins plastique avec l'incorporation des adjuvants chimiques, cela devient possible avec l'incorporation des adjuvants chimiques, cela devient possible.

➤ **Caractéristiques 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 composantes (liants, granulats) ;
- Forme, granulométrie et type de granulats ;
- Le volume d'air ;
- Le dosage en eau ;

Il existe 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'écoulements Etc.

1) Affaissement au cône d'ABRAMS :

➤ **Béton ordinaire et béton à haute performance :**

Est un essai d'affaissement d'un volume de béton de forme tronconique. Cet essai est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier.

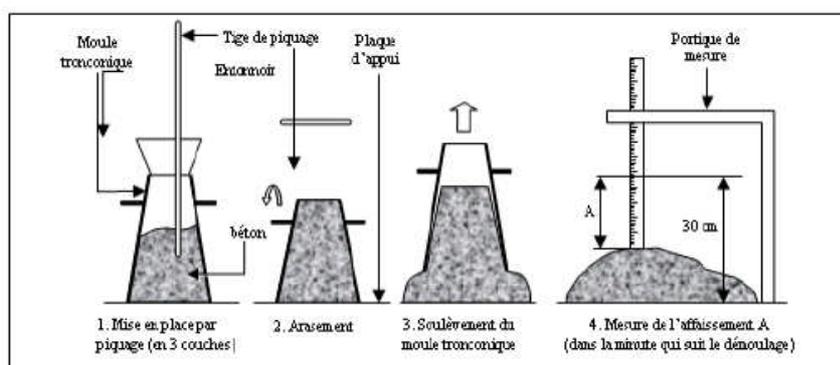


Figure II-1 : Essai affaissement au cône d'ABRAMS**2-) Étalement des bétons autoplaçants :**

Les BAP sont des bétons très fluides qui ont l'avantage à se mettre en place par eux-mêmes dans des coffrages fortement armés. La mise en place ne nécessite aucune vibration et ils remplissent les coffrages de façon homogène avec une faible ségrégation, ce qui rend ce béton très attrayant pour la diminution des coûts de main d'œuvre. La mesure de l'ouvrabilité se fait par plusieurs essais dont la mesure de l'étalement au lieu de l'affaissement.

**Figure II-2 : Essai sur étalement du béton autoplaçant****➤ Caractéristiques du béton durci :**

Le béton est un matériau travaillant bien en compression dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages. Assez souvent beaucoup de professionnels du béton considèrent que la caractéristique essentielle du béton durci est sa résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Sa résistance à la traction ainsi que celle en flexion sont beaucoup plus faibles que sa résistance à la compression. De nos jours, il est aussi important de se soucier des autres caractéristiques telles que la perméabilité, la porosité etc.

1-) Résistance :**➤ La résistance en compression :**

La résistance en compression à 28 jours est désignée par f_c 28. Elle se mesure par compression axiale de cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre.

Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 cm dont la section est de 200cm^2 . Elle varie suivant la taille des éprouvettes essayées. Plus celle-ci sont petites et plus les résistances sont élevées. La résistance sur cylindre d'élanement 2 (par exemple le diamètre de 16 cm, hauteur de 32 cm) est plus fiable de l'ordre de 20% que la résistance sur cubes de 20 cm.

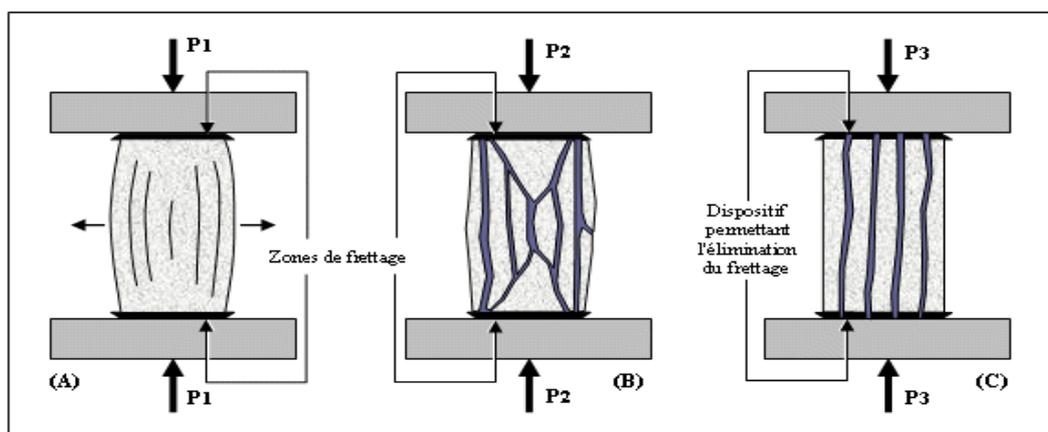


Figure II-3 : Essai sur la résistance à la compression

Le béton de l'ouvrage a des résistances différentes de celles du même béton essayé sur éprouvettes d'essai normalisés (il y a l'effet de masse et une hydratation différente du fait des évolutions des températures elles-mêmes différentes). La résistance en compression est donc à associer à la méthode d'essai (ou à la référence à la norme utilisée) et à l'échance fixée. Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en compression du diamètre vertical, la résistance en compression du diamètre vertical, la

résistance en compression sera : $f_{cj} = \frac{P}{S}$

Avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai et S : surface du cylindre

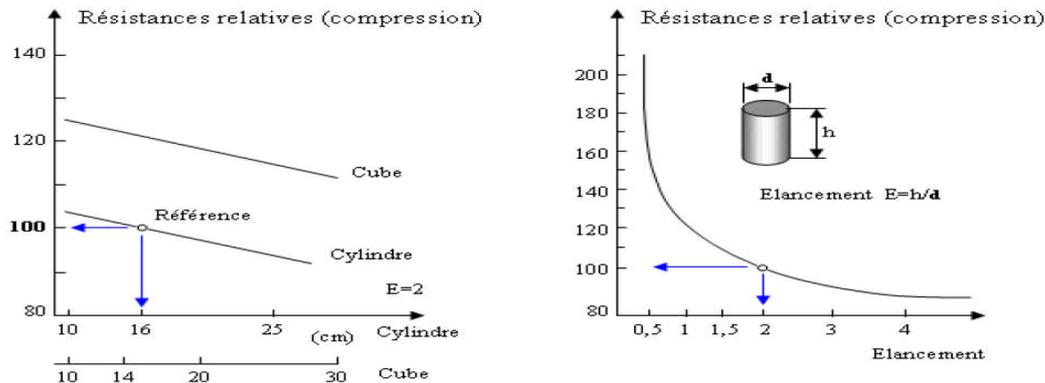


Figure II- 4 : variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes.

➤ **La résistance en traction :**

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement.

La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} .

➤ **La résistance en traction-flexion :**

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élanement 4, reposant sur deux appuis ;

- Soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre)
- Soit sous deux charges concentrées, symétriques égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges).

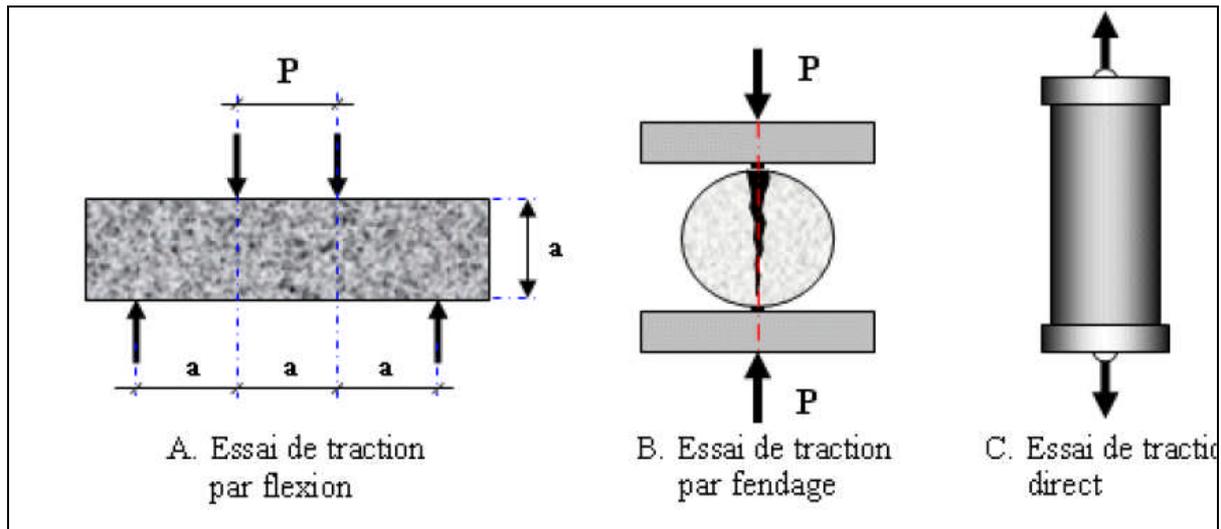


Figure II-5 : Différents essais sur les résistances d'un béton en traction

➤ **La résistance en traction par fendage :**

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé « essai Brésilien ». Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical.

La résistance en traction sera :

$$f_{tj} = \frac{P}{2\pi DL}$$

Avec j : âge du béton (en jours) au moment de l'essai, D et L : diamètre et longueur du cylindre.

➤ **La résistance en traction directe :**

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le coulage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

➤ **La porosité :**

La caractéristique essentielle du béton durci est sa porosité – rapport du volume des vides au volume total.

➤ **Les déformations sous charge de longue durée : Fluage**

Au-delà d'une certaine charge (approximativement la moitié de la résistance ultime à la compression), le béton se comporte comme un corps plastique, après suppression de la charge, il subsiste une déformation résiduelle permanente, c'est ce qu'on appelle le phénomène du fluage.

➤ **Variations volumiques :**

Au cours de son évolution, le béton est l'objet de modifications physico-chimiques qui entraînent des variations dimensionnelles.

➤ **Retrait :**

Il est souvent désigné sous le nom de retrait hydraulique, en raison du rôle essentiel joué par l'eau dans le phénomène, Il résulte du cumul des effets :

- Du retour à température ambiante faisant suite à l'échauffement provoqué par la réaction d'hydratation ;
- Du retrait de dessiccation, résultant du caractère poreux du matériau qui se constitue, associé à la mise en équilibre hygroscopique entre l'eau non combinée (vapeur saturée) et l'eau vapeur contenue dans l'air ambiant.

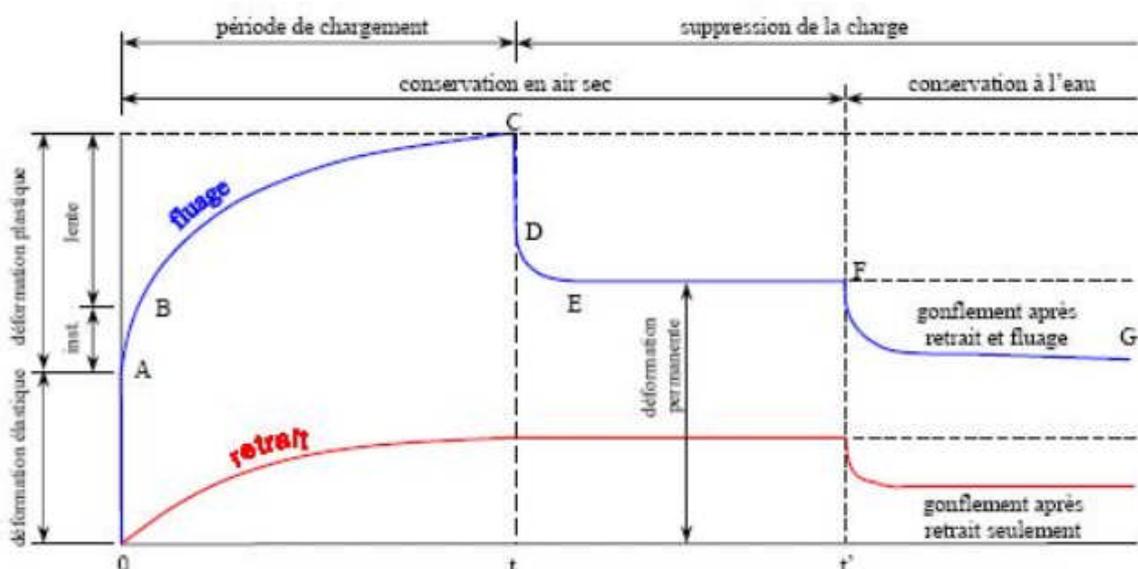


Figure II-6 : Courbe représente le phénomène de retrait et fluage

6) Formulation des bétons :

6-1) Définition : l'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause. Dr Ir P BOERAEVE, [6]

6-2) Les méthodes de composition des bétons : Les méthodes proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes ; elles aboutissent à des dosages « volumétriques » ou de préférence « pondéraux » le passage de l'un à l'autre pouvant toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac .On citera :

- Méthode de BOLOMEY;
- Méthode d'ABRAMS ;
- Méthode de FAURY ;
- Méthode de VALETTE ;
- Méthode de JOISEL ;
- Méthode de DREUX et GORISSE.....

1) Méthode de BOLOMEY :

Par une formule appropriée on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante :

$$P=A+(100-A)\sqrt{\frac{d}{D}}$$

Avec :

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d

D : est le diamètre du plus gros grain

A : varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue.

2) Méthode d'ABRAMS :

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Cette règle de mélange d'ABRAMS ; elle permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de modules de finesse Mf_1 et Mf_2 pour obtenir un module Mf choisi pour le mélange.

Le module de finesse du mélange est choisi de manière que les vides dans ce mélange soient en principe, réduits au minimum, les modules optimaux pour béton de granulat roulés, déterminés expérimentalement par ABRAMS, sont indiqués dans le tableau, en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du granulat le plus gros,

Dosage en ciment kg/m ³	Dimension maximale D des granulats.						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.60	5.80	6.00
300	4.20	4.60	5.00	5.40	5.65	5.85	6.20
350	4.30	4.70	5.10	5.50	5.73	5.88	6.30
400	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	5.90	6.40

Tableau II-1 : Valeurs optimales d'après ABRAMS du module de finesse des compositions granulaire des bétons courants

3) Méthode de FAURY :

FAURY a proposé une nouvelle loi de granulation de type « continu ». Il a distingué les grains fins et moyens ($< D/2$) des gros grains ($> D/2$) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en

abscisse, en $\sqrt[3]{D}$. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à D/2 et son ordonnée Y est donnée par une formule suivante :

$$Y = A + 17 \sqrt[3]{D} + \frac{B}{D} + 0,75$$

Le paramètre A est choisit dans un tableau et D est exprimé en dimension passoire.

B: varie de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.

R :est le rayon moyen de moule.

4) Méthode de VALETTE :

Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

Dans les cas les plus courants on partira en général de deux granulats (bétons binaires) : un sable 0/5 mm et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité avec le sable, un 16/25 mm par exemple. On calcule d'abord le dosage de sable ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment. On ajoute ensuite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier .On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé (en ciment).

5) Méthode de JOISEL :

Obtenir une courbe granulométrique de référence qui se réduit à une simple droite l'échelle des abscisses proportionnelle à $\sqrt[3]{d}$, m variant avec le serrage des matériaux .Pour éviter la cassure de la droite de référence au point d'abscisse D/2 JOISEL a déterminé

l'échelle de l'intervalle $\frac{D}{2}$ de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite ,et il faut employer un graphique dont l'échelle des abscisse est variable d'une étude à l'autre d'un type de granulat à un autre . C'est ensuite par une méthode graphique dont nous nous inspirons que se détermine les pourcentages des divers granulats.

6) Méthode de DREUX et GORISSE :

La résistance et l'ouvrabilité désirées conduisent à déterminer le dosage en ciment et le dosage en eau. Une courbe de référence granulaire est ensuite tracée schématiquement en tenant compte des différents paramètres concernant le béton étudié et ses constituants : dimension des granulats, dosage en ciment plasticité, intensité du serrage module de finesse du sable, etc.

Cette courbe de référence permet de doser les proportions, en volume absolu, des différents granulats dont on dispose. Enfin la prise en compte d'un coefficient de compacité probable du béton et de la masse volumique des différents granulats permet d'aboutir à la formule de dosage pondéral pour le béton désiré. Il s'agit ensuite d'exécuter quelques essais sur ce béton pour apporter à cette formule les corrections expérimentales nécessaires.

7) Caractérisation mécanique du béton et acier :

❖ béton :

Le béton est caractérisé par une bonne résistance à la compression f_{cj} et une résistance médiocre en traction f_{ij} . Un module d'Young qui prend deux valeurs selon que l'on considère des déformations instantanées E_{ij} ou des déformations à long terme, déformation différées, E_{vj} . [7]

7-1) Essais de laboratoire :

Expérimentalement la résistance à la compression se mesure le plus souvent sur des éprouvettes cylindriques de diamètre 16 cm et de hauteur 32 cm.

La résistance à la traction s'obtient soit par essai de traction par fondation (dit essai Brésilien) soit par un essai de flexion sur éprouvette prismatique.

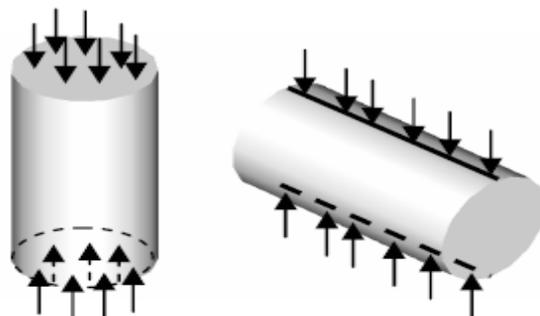


Figure II-7 : Essais de compression et de traction sur éprouvettes 16*32

7-1-1) Résistance à la compression :

Dans les cas courants, un béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression, à l'âge de 28 jours, dite « valeur caractéristique requise ». Cette résistance se mesure par des essais de compression sur éprouvettes cylindriques de section 200 cm^2 et de hauteur double de leur diamètre (les éprouvettes sont dites « 16-32 »).

Elle est notée f_{c28} et s'exprime en Mpa, et correspond dans la norme à la valeur de la résistance au dessous de laquelle peuvent se situer au plus 5% de la population de tous les résultats des essais sur éprouvette 16*32. Cette résistance caractéristique est donc bien inférieure à la valeur moyenne des résultats d'essai.

Cette résistance varie en fonction de l'âge du béton et le règlement donne des lois d'évolution de f_{cj} (résistance en compression à j jours) en fonction de l'âge j en jours.

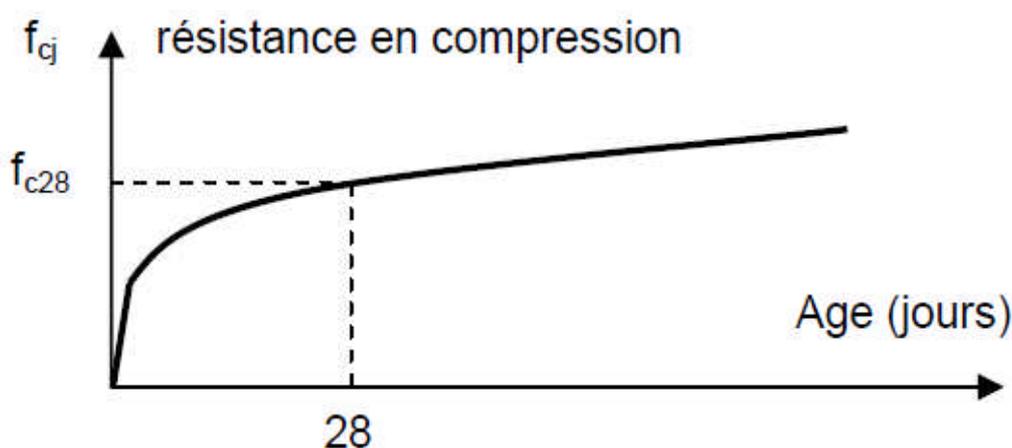


Figure II-8 : Évolution de la résistance en compression d'un béton en fonction de son âge

Pour des bétons non traités thermiquement, on admet (BAEL) :

$J \leq 28$	$f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$	$f_{cj} = j \cdot f_{c28} / (4,76 + 0,83j)$
	$f_{c28} > 40 \text{ MPa}$	$f_{cj} = j \cdot f_{c28} / (1,40 + 0,95j)$
$J = 28$		$f_{cj} = f_{c28}$ pour les calculs de résistance
$28 < J < 60$	$f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$	$f_{cj} = j \cdot f_{c28} / (4,76 + 0,83j)$ pour les calculs de déformation
$J > 60$		$f_{cj} = 1,1 \cdot f_{c28}$ pour les calculs de déformation

7-1-2) Résistances à la traction du béton :

La résistance à la traction du béton à j jours, notée f_{tj} et exprimées en Mpa est définie conventionnellement par la relation :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{cj} \quad \text{si } f_{c28} < 60 \text{ Mpa} \quad \text{et} \quad f_{tj} = 0,275 \cdot f_{cj}^{2/3} \quad \text{si } 60 < f_{c28} < 80 \text{ Mpa}$$

7-1-3) Déformations longitudinales du béton :

Un essai de compression simple sur éprouvette 16*32 permet d'obtenir le diagramme expérimental « contrainte-déformation » du béton ci-dessous. Réglementairement, on applique des coefficients de sécurité sur la résistance du béton et le diagramme qui sera utilisé pour les calculs à l'ELU (États Limites Ultimes) sera le diagramme dit « de calcul ». La résistance de calcul à la traction sera négligée.

Le béton est un matériau fragile (par opposition à ductile) il se déforme peu avant rupture, la loi de comportement fait apparaître une zone élastique (quasiment linéaire) et une zone plastique.

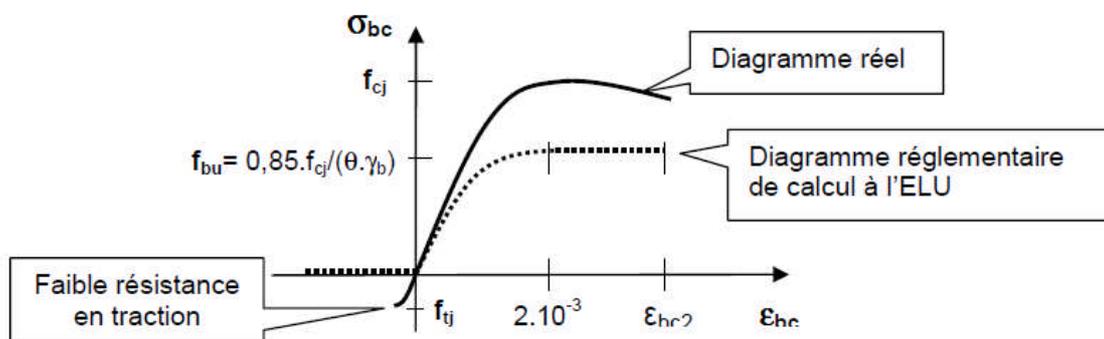


Figure II-9 : Diagramme expérimental et diagramme de calcul du béton

$f_{bu} = 0,85 \cdot f_{cj} / (\theta \cdot \gamma_b)$ Et la résistance en compression pour le calcul à l'ELU avec :

$\theta = 1$ pour les charges appliquées plus de 24 h ; (0,9 entre 1et 24h et 0,85 si <1h)

$\gamma_b = 1,5$ à l'ELU normal et 1,15 à l'ELU accidentelle ;

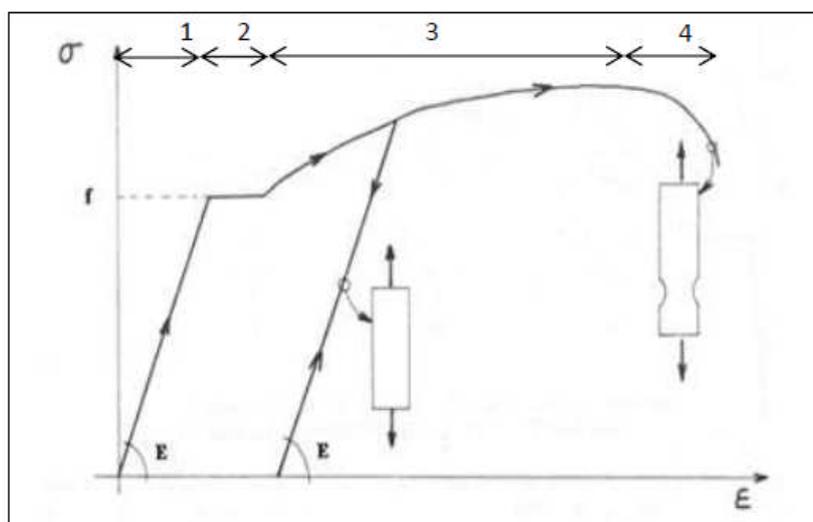
Modèle de calcul à l'E.L.S**Contrainte de compression du béton limite de service (BAEL91/Art4.5, 2)**

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$$

❖ **Comportement de l'acier :**

On considère l'acier travaillant uniquement en traction dans le béton armé. On distingue plusieurs phases :

- Une première phase, élastique ou les déformations sont réversibles et proportionnelles à la sollicitation à laquelle est soumis l'élément en acier. Dans cette phase ce matériau suit la loi de Hooke.
- La seconde phase, l'écrouissage, est une phase plastique. Des déformations irréversibles apparaissent. Si on procède à une décharge puis qu'on sollicite à nouveau l'élément, sa limite élastique sera au maximum atteinte avant la décharge.
- Une phase de striction. Une diminution de la section à un endroit donné et un allongement de l'élément s'opèrent.



- 1 - Zone élastique
- 2 - Plateau plastique
- 3 - Zone d'écrouissage
- 4 - Zone de striction

Figure II-10 : Comportement de l'acier en traction.

III) les Matériaux composites

1-) Introduction :

Les matériaux composites suscitent depuis plusieurs années un intérêt grandissant qui dépasse largement le stade de la simple curiosité technique et qui est attesté par multiplication de réalisations industrielles. Suite au succès enregistré dans le domaine de l'aéronautique et du spatial et grâce aux recherches menées ces dernières années, l'usage des matériaux composites s'implante et se diffuse de plus en plus dans le domaine de génie civil.

2-) Présentation des matériaux composites :

Un matériau composite peut être défini d'une manière générale comme l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux .L'assemblage final ayant des propriétés de chacun des matériaux constitutifs. De façon courant on appelle « matériaux composites » des arrangements de fibres, le renfort qui est noyés dans une matrice dont la résistance mécanique est beaucoup plus fiable, la matrice assure la cohésion et l'orientation des fibres, elle permet également de transmettre les sollicitations aux quelles sont soumises les pièces .les matériaux ainsi obtenus sont très hétérogènes et anisotropes. Glossaire matériaux composites, [8]

2-1) Matrices :

Est elle-même composée d'une résine (polyester, époxydeEtc.) Et de charges dont le but est d'améliorer les caractéristiques de la résine tout en diminuant le coût de production. Laurent G, [9]

Note : la matrice à pour rôle de lier les fibres renforts, répartir les contraintes subies, apporter la tenue chimique de la structure et donner la forme désirée au produit.

La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la figure III-1:

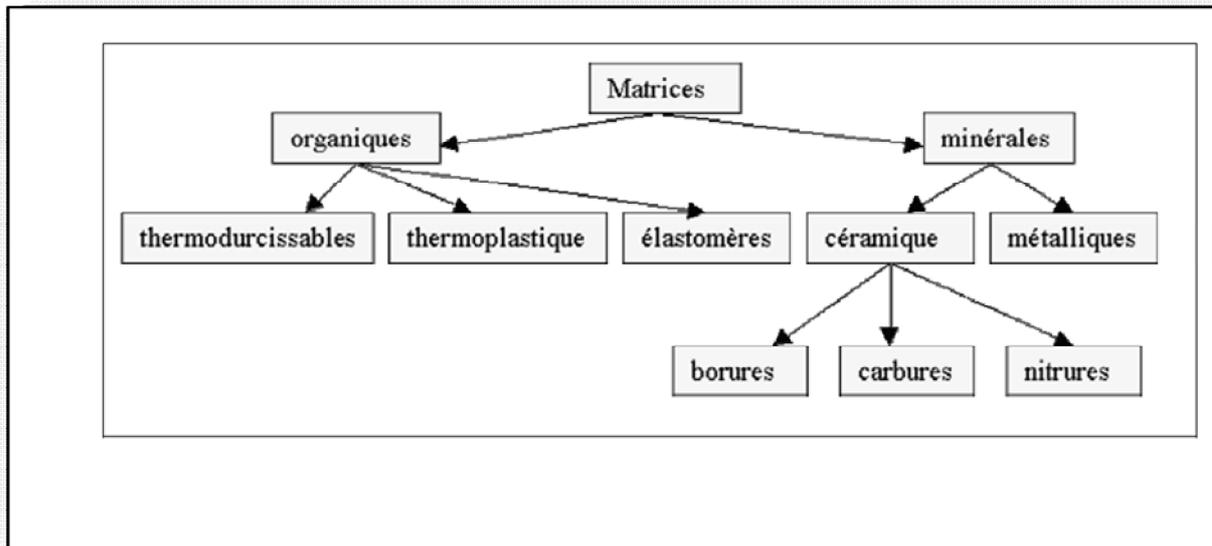


Figure III-1: Différentes familles de matrice .NADIA B, [11]

On utilise actuellement surtout des résines thermodurcissables que l'on associe à des fibres longues, mais l'emploi de polymères thermoplastiques renforcés de fibres courtes se développe fortement. [10]

Il est important de bien situer les différences fondamentales de ces deux types de matrices NADIA B, [11]

2-1-1) Résines thermodurcissables :

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois, elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants. Les résines polyesters insaturées, les résines de condensation (phénoliques, amoplastes, furaniques). Et les résines époxy sont des résines thermodurcissables.

2-1-2) Résines thermoplastiques :

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles. Ces résines sont solides et nécessitent une transformation à très haute température.

Une comparaison entre quelques caractéristiques des résines thermodurcissables et celles des résines thermoplastiques est présentée dans le tableau (III-1). NADIA B, [11]

Tableau III-1 : critères essentielles des matrices TD et TP

Matrices	TD	TP
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solide prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage + refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite (sauf nouveau TP)
Chutes et déchets	Perdus ou utilisés en charges	Recyclables
Conditions de travail	Emanations de solvants	Propreté

TD : matrices thermodurcissables ;

TP : matrices thermoplastiques ;

2-2) Les charges :

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermique, d'améliorer l'aspect de surface ou bien simplement, de réduire le prix de revient des matériaux transformé.

On a deux types de charges : charges renforçantes, ex (: charges sphériques et charges non sphériques) des charges non renforçantes peuvent être également utilisées pour diminuer le coût des matrices en résine ex, (charges ignifugeantes). **Livre (Jean-Marie Berthelot), [12]**

Note : Pour un polymère donné, le choix d'une charge est déterminé en fonction des modifications recherchées pour l'objet fini. Mais d'une manière générale, les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences :

- compatibilité avec la résine de base ;
- mouillabilité ;
- uniformité de qualité et de granulométrie ;
- fiable action abrasive ;
- bas prix de revient.

2-3) Les additifs :

Des produits peuvent être incorporés à la résine pour renforcer les propriétés mécaniques. Des additifs, de types colorant ou agent de démoulage sont largement utilisés lors de la conception des structures constituées de matériaux composites.

2-4) Renforts:

Les matériaux de renfort confèrent aux composites leur caractéristiques mécaniques : rigidité, résistances à la rupture, duretéEtc. Ces renforts permettent également d'améliorer certaines des propriétés physiques : comportement thermique, tenue en température résistance à l'abrasion, propriétés électriques Etc. Souvent de nature filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques).

2-4-1) Principaux matériaux de renfort :

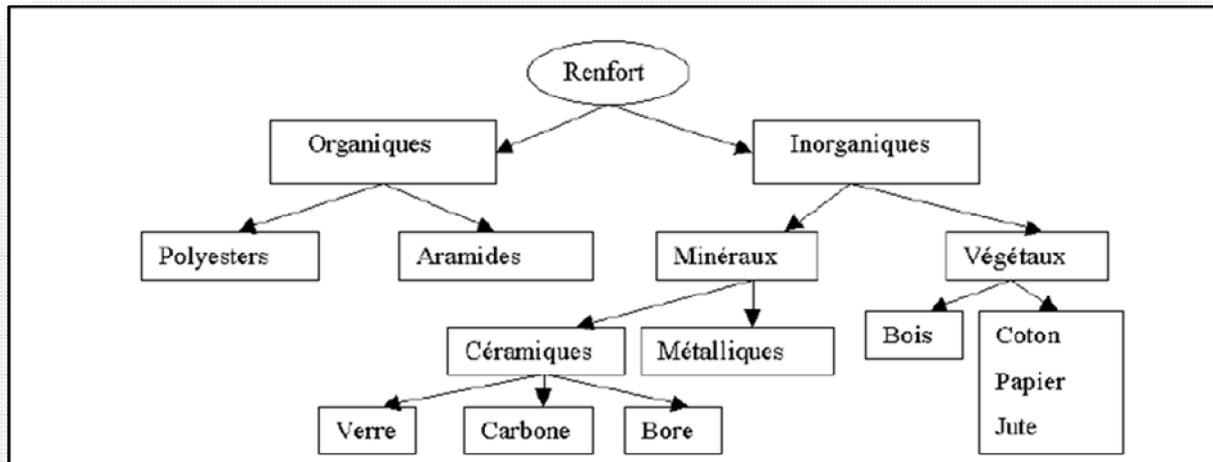


Figure III-2 : Principaux matériaux de renfort. NADIA B, [11]

2-4-2) Les caractéristiques recherchées pour les renforts sont:

Des caractéristiques mécaniques élevées, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec les résines, une bonne facilitée de mise en œuvre, un faible coût.

2-4-3) Architecture des renforts :

Les structures composites sont anisotropes. La plupart des renforts travaillent bien en traction, mais offrent de moins bonnes performances en compression et cisaillement. Il est donc impératif de jouer sur la texture et la géométrie des renforts pour créer une architecture adaptée. Merdas A, [9]

il existe différentes géométries et textures de renforts :

- sous forme linéiques (fils, mèches, etc.)
- sous forme de tissus surfaciques (tissus simples, matsEtc.)
- sous forme multidirectionnelle (tresses, tissus complexesEtc.)

Mats : Ce sont des nappes de fils continus ou coupés disposés dans un plan suivant une direction aléatoire. Ils sont maintenus ensemble par un liant. Le mat est isotrope à cause de l'absence d'orientation préférentielle des fibres.

Note : Les renforts peuvent également s'arranger sous formes hybrides (mélange de fils continus et les fils coupés) afin d'augmenter la résistance du composite. Les fibres les plus utilisées sont les fibres d'aramide. Selon les fibres utilisées. Les composantes sont classifiées en trois types :

- Fibres de verre renforcées de polymères (GFRP : Glass fiber reinforced polymer) ;
- Fibres de carbone renforcées de polymères (CFRP : Carbone fiber reinforced polymer) ;
- Fibres d'aramide renforcées de polymères (AFRP : Aramid-fiber-reinforced polymer) ;

Tableau III-2 : Performances comparées des différents types d'architecture :Merdas A[9]

Architecture des fibres	Comportement mécanique recherché	Orientation de la tenue mécanique	Taux maximal de renfort	Type de fibres
Fibres coupées et broyées	Moyen	quelconque	30%	verre
Mats fibres coupées	Moyen	quelconque	30%	verre ou carbone
Mats fibres continues	Moyen	orientée	30%	verre
Fibres continues	Intermédiaire	unidirectionnelle	50 à 70%	toutes
Tissu	Fort	bi ou tri directionnelle	30 à 70%	toutes
Nappe	Très fort	Unidirectionnelle (Bi-directionnelle si superposition)	50 à 85%	toutes

3) Les matériaux composites structuraux :

Les matériaux composites structuraux sont classés en trois catégories :

- Les monocouches ;
- Les stratifiés ;
- Les sandwichs ;

3-1-Les monocouches :

Représentent l'élément de base de la structure composite. La forme du renfort caractérise les différents types de monocouches. Le renfort peut être à fibres longues : ce sont les plis

unidirectionnels (noté parfois UD), courtes ou à fibres tissées. **Glossaire matériaux composites [8]**

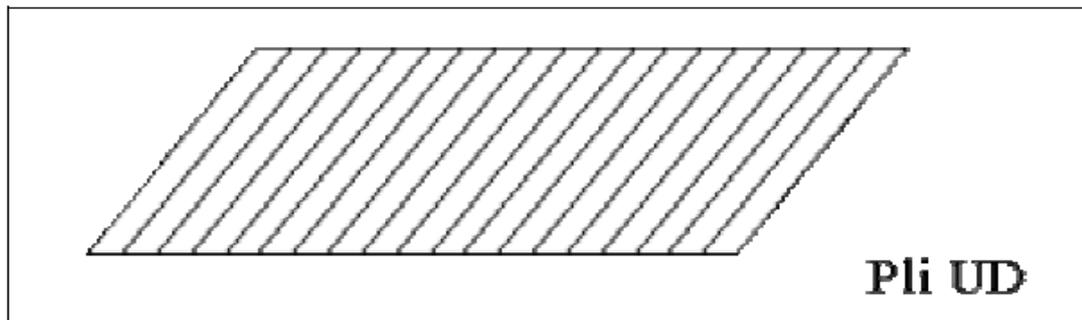
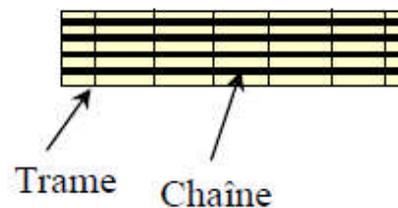
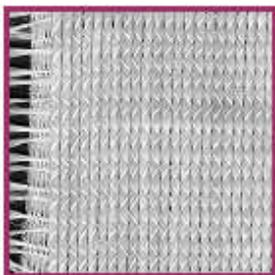


Figure III-3 : pli unidirectionnels. Glossaire matériaux composites, [8]

3-2) Les plis équilibrés (tissés équilibrés) :

Les tissus se composent de fils de chaîne et de trame perpendiculaires entre eux. Le mode d'entrecroisement ou armure les caractérise.



Dans l'industrie on peut trouver plusieurs types de ces tissés parmi eux on distingue :

a-) Toile ou taffetas :

Chaque fil de chaîne passe dessus puis dessous chaque fil de trame, et réciproquement. Les tissus présentent une bonne planéité et une relative rigidité, mais sont peu déformables pour la mise en œuvre. Les nombreux entrecroisements successifs génèrent un embuvage important et réduisent les propriétés mécaniques.

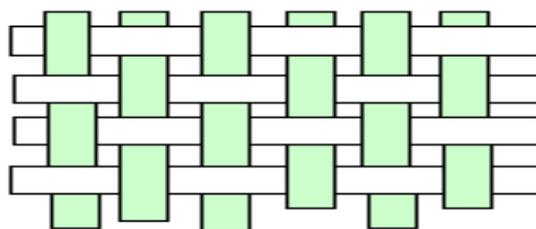


Figure: III-4 : toile ou taffetas. Glossaire matériaux composites, [8]

b-) Serge :

Chaque fil de chaîne flotte au dessus de plusieurs (n) fils de trame et chaque fil de trame flotte au dessus de (m) fils de chaîne. Armure de plus grande souplesse que le taffetas ayant une bonne densité de fils.

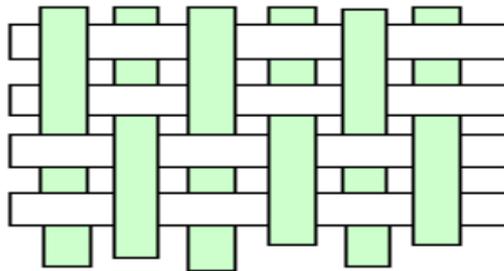


Figure: III-5 : serge. Glossaire matériaux composites, [8]

c-) Satin:

Chaque fil de chaîne flotte au dessus de plusieurs (n-1) fils de trame et réciproquement. Ces tissus sont assez souples et adaptés à la mise en forme de pièces à surfaces complexes. Ce type de tissus présente une forte masse spécifique.

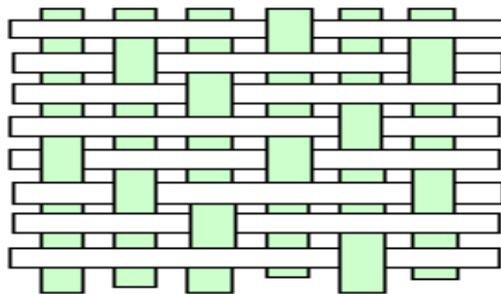


Figure: III-6 : satin. Glossaire matériaux composites, [8]

Comme un tissu est difficilement déformable sur une surface gauche, on réalise également pour des utilisations spécifiques de l'armure bi ou tridimensionnelles.

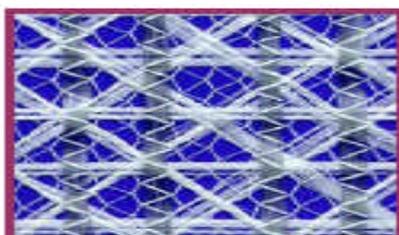


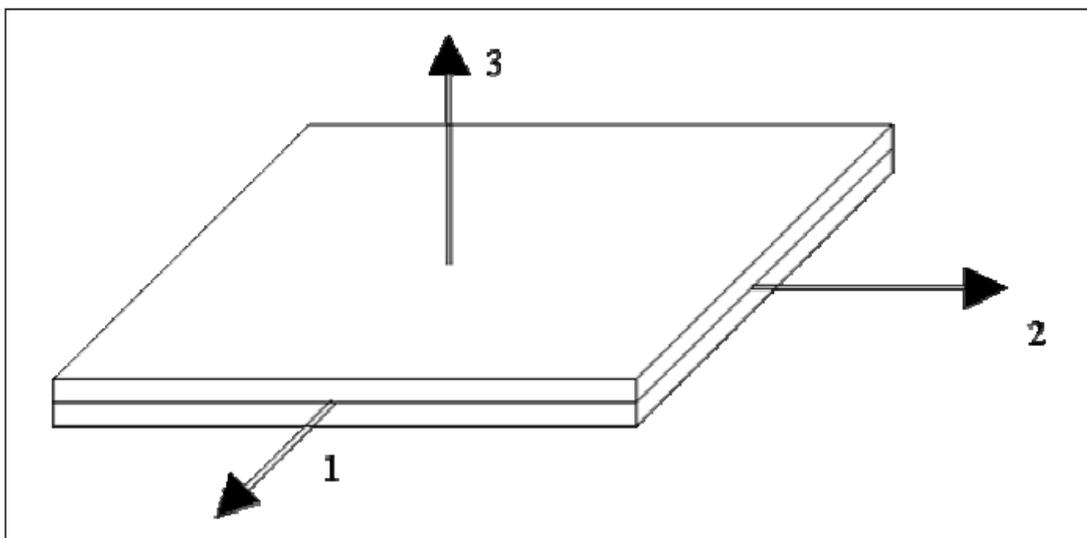
Figure III-7 : multiaxial. Glossaire matériaux composites, [8]

Il est également possible de réaliser des structures de renforts hybrides en tissant des fibres de natures différentes ou, en superposant des tissus ou nappes de renforts de fibres différentes.

**Figure: III-8 : tissu hybride carbone - aramide. Glossaire matériaux composites, [8]**

3-4) Les stratifiés:

Sont constitués d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié. Anh Dung NG, 2014 [14] P 139

**Figure: III-9 : stratifié. Glossaire matériaux composites, [8]**

Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'obtenir des propriétés mécaniques spécifiques.

Les stratifiés peuvent être de trois types :

- ✓ Équilibrés : le stratifié contient autant de couches orientées suivant la direction $+\theta$ que de couches orientées suivant la direction $-\theta$.
- ✓ Symétriques : les couches du stratifié sont disposées symétriquement par rapport à un plan moyen.
- ✓ Orthogonaux : le stratifié comporte autant de couches à 0° que de couches à 90° .

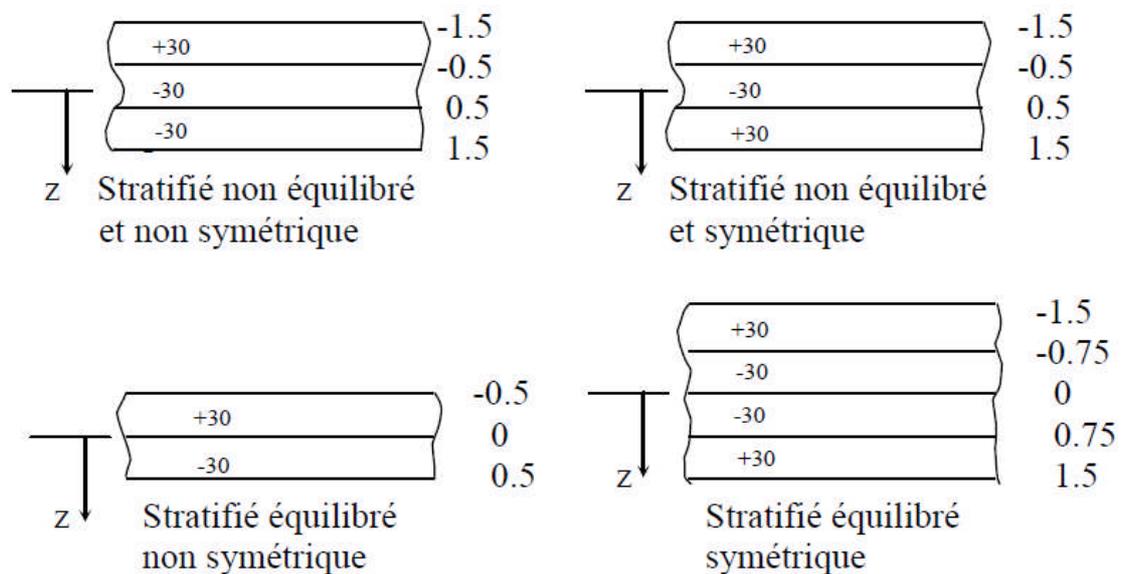


Figure III-10 : Différents types de stratifie. Anh Dung NG, [14]

Note :

- ✓ Un pli dont les axes naturels ne coïncident pas avec les axes de référence se comporte comme un stratifié non équilibré mais symétrique.
- ✓ Pour qu'un stratifie soit symétrique et équilibré. Il doit comprendre au moins quatre plis.
- ✓ Un stratifié symétrique et équilibré doit comprendre un nombre pair de plis.

3-5) Les sandwiches:

Sont des matériaux possédant deux peaux de grande rigidité et de faible épaisseur et renfermant un cœur de forte épaisseur et de faible résistance. L'ensemble forme une structure d'une grande légèreté. Le matériau sandwich possède une grande légèreté en flexion et c'est un excellent isolant thermique.

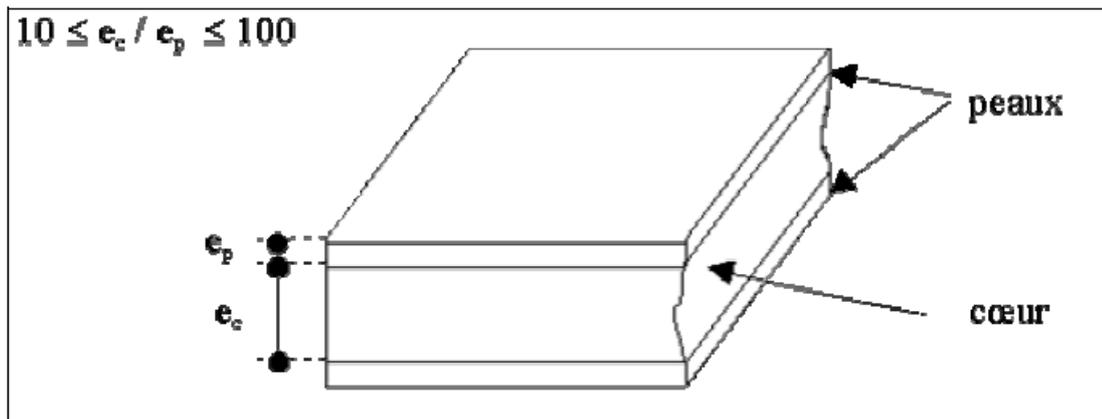


Figure III-11 : les sandwichs

4) Les caractérisations d'un matériau composite il sera nécessaire de spécifier :

- ✓ la nature de l'interface matrice-renfort
- ✓ la nature des constituants et leurs propriétés
- ✓ la géométrie du renfort et sa distribution

5) Les propriétés des matériaux composites résultent :

- ✓ Des propriétés des matériaux constituants ;
- ✓ De leur distribution géométrique ;
- ✓ De leurs interactions, etc.

6) Classifications des matériaux composites :

les matériaux composites peuvent être classés selon plusieurs manières Jean-Marie Berthelot [12]

- **suivant les constituants** : en fonction de la forme des constituants ,les matériaux composites peuvent être classés en deux familles .

- **Les matériaux à fibre** : les renforts se trouvent sous forme de fibres continues, coupées ou courtes. les caractéristiques mécaniques du matériau dépendent de l'arrangement des fibres ainsi que de leur nature.

- **Les matériaux à particules** : Les renforts se trouvent sous forme de particules, à l'inverse les particules n'ont pas de dimension privilégiée. Différents types de particules existent et seront choisis en fonction du avantage souhaité, les particules peuvent augmenter la rigidité, diminuer l'abrasion ou encore améliorer la tenue au feu du matériau.

- **Suivant la nature des constituants** : suivant la nature de la matrice

Tableau III-3: Différents types de matrice Jean-Marie Berthelot [12]

Type de matrice	constituants	Domaine d'application
1-composites a matrice organique *papier carton *panneaux de particules *panneaux de fibre	Résine/charges/fibres cellulosique Résine/copeaux de bois Résine/fibre de bois	Imprimerie, emballage Menuiserie Bâtiment
2-composite à matrice minéral *béton *composite carbone-carbone *composite céramique	Ciment/sable/granulats Carbone-fibre de carbone Céramique/fibre céramique	Génie civil Aviation, espace, sport... Pièce thermomécaniques
3-composite à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibre de carbone	espace
4-sandwich *peau	Métaux, stratifié	Domaines multiples

7) Mise en œuvre et procédés [10]

Trois opérations sont indispensables :

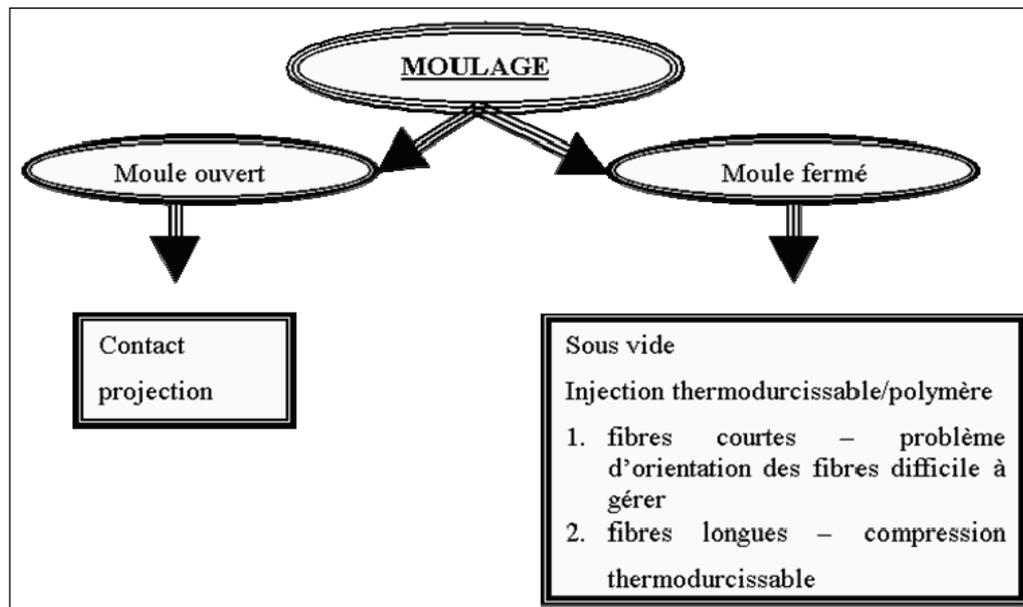
1- Imprégnation du renfort par le système résineux.

2 - Mise en forme à la géométrie de la pièce.

3 -Durcissement du système :

- ✓ Soit par polycondensation et réticulation pour les matrices thermodurcissable.
- ✓ Soit par simple refroidissement pour les matrices thermoplastiques.

Il existe différentes techniques mais la plus utilisée est par moulage :

**7-1) Classification des procédés en deux grandes familles :**

Procédés humides : (par imprégnation directe) : ils sont généralement adaptés à des petites et moyennes séries. Exemple. Glossaire matériaux composites, [8]

- ✓ Moulage au contact;
- ✓ Moulage par projection simultanée;
- ✓ Moulage à froid ou chaud sous presse;
- ✓ Moulage au sac sous pression et moulage sous vide;

- ✓ Moulage par injection de résine (RTM : Résine Transfer Moulding avec moule et contre moule);
- ✓ Centrifugation;
- ✓ Pultrusion;
- ✓ Enroulement filamentaire;
- ✓ Stratification en continu de plaques et profiles (dépassé).

Procédés secs : (Par imprégnation indirecte) : Ils nécessitent l'utilisation de demi-produits de moulage – pré imprégnés en nappes ou en composés pâteux.

7-2) Les procédés les plus importants:

Les technologies dites en moule ouvert :

1) Moulage au contact :

Procédé manuel pour la réalisation de pièces a partir de résines thermodurcissable, à température ambiante et sans pression, les renforts sont déposés sur le moule et imprégnés de résine liquide, accélérée et catalysée .Après durcissement de la résine ,la pièce est démoulée et détournée .

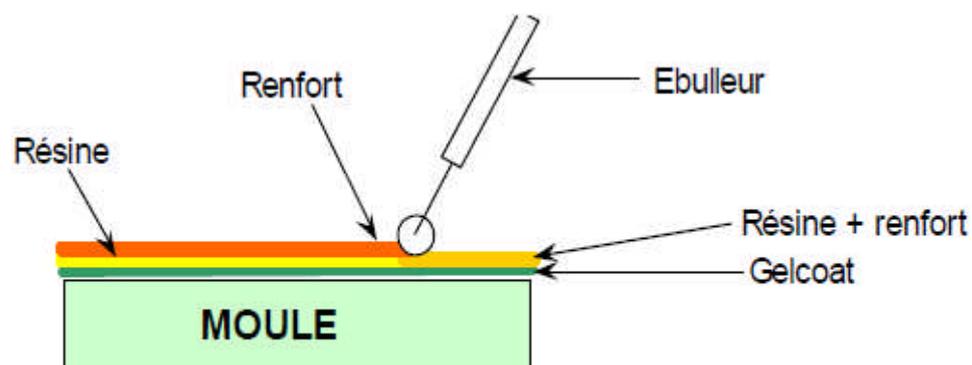


Figure III-12 : moulage au contact. Glossaire matériaux composites, [8]

Cas d'utilisation : -pièces de grandes à très grandes dimensions.

2) Moulage par projection simultanée :

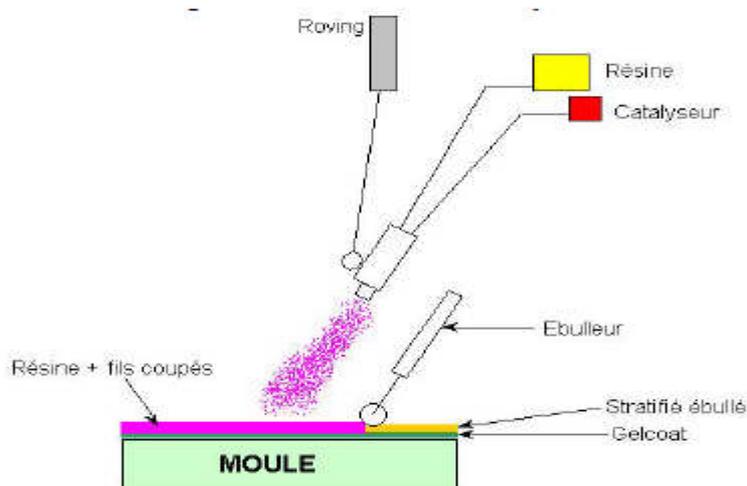


Figure III-13 : moulage par projection simultanée. Glossaire matériaux composites, [8]

Procédé manuel permettant la réalisation de pièces à partir de résines thermodurcissables à température ambiante et sans pression, les matières premières sont mise œuvre à l'aide d'une machine dit « de projection » comprenant :

- un dispositif de coupe-projection du renfort
- Un ou deux pistolets projetant simultanément la résine

Les fils coupés et la résine sont projetés sur la surface du moule puis compactés à l'aide de rouleaux et d'ébulleurs la résine est catalysée en continu lors de sa projection.

Cas d'utilisation : production de pièces de moyenne à grande dimension petite et moyenne série.

Les technologies dites en moule fermé :

1) Moulage-sous vide :

Le moulage sous vide s'effectue entre moule et contre-moule rigide, semi-rigide ou souple suivant la technologie de mise en œuvre.

Le renfort (mat, tissu, préforme) est placé à l'intérieur du moule, la résine catalysée est versée sur le renfort, on utilise la pression qui s'exerce sur le moule lors de la mise sous vide pour répartir la résine et imprégner le renfort.

La résine peut également être injectée par l'aspiration consécutive au vide.

Cas d'utilisation : -production en petites séries de pièces nécessitant deux faces lisses.

2) Moulage par pultrusion :

Le procédé est destiné à la réalisation en continu de profilés de sections constantes. Des renforts continus, mats et tissus en bandes de largeurs appropriées, tirés par un banc de traction situé en fin ligne de production, sont successivement prédisposés de façon précise, imprégnés de résine et mise à la forme désirée par passage à travers une filière chauffée dans laquelle s'effectue le durcissement de la résine.

Cas d'utilisation : réalisation de profilés en quantités significatives.

3) Moulage par enroulement filamentaire :

Procédé de moulage limité aux formes de révolution. Initialement, destiné à la réalisation d'enveloppes de révolution nécessitant de hautes performances mécaniques par enroulement progressif sur un mandrin, selon un angle déterminé de fils de verre imprégnés de résine.

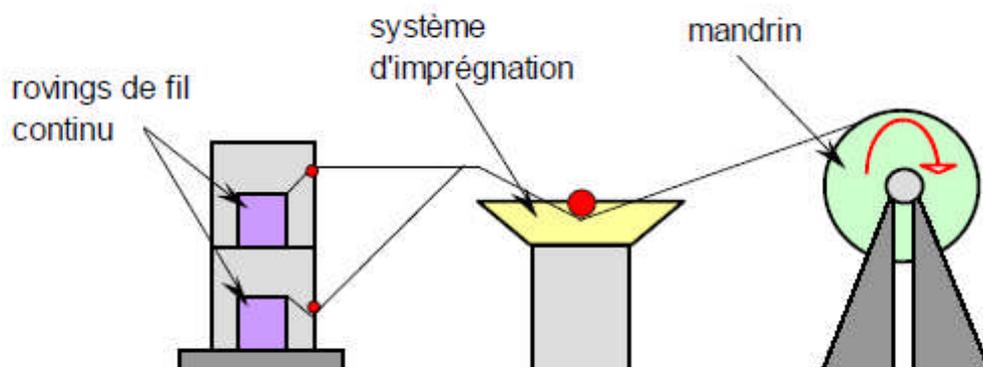


Figure III-14 : moulage par enroulement filamentaire. Glossaire matériaux composites, [8]

Cas d'utilisation :

- Toutes pièces de révolution à produire en série ;
- Pièces nécessitent une résistance élevée ;

8) Avantages et limitations des matériaux composites :

❖ **Avantage :**

L'utilisation des matériaux composites apporte de nombreux avantages en termes de propriétés des matériaux. En effet, le but de leur fabrication est de profiter des bonnes propriétés de chaque constituant afin d'en former un qui sera mieux adapté à certaines applications. PIERRE T. SERGE S, [5]

Voici un bref résumé des avantages et des inconvénients reliés à l'utilisation des composites comme matériaux de construction :

- ✓ Rapport résistance-poids très élevé;
- ✓ Très grande rigidité;
- ✓ Résistance a la fatigue acceptable;
- ✓ Résistance à la corrosion;
- ✓ Facilité de mise en place;
- ✓ Facilité de mise en place;
- ✓ Possibilité d'optimisation (choix de renforcement, direction);
- ✓ Multifonctionnalité (résistance mécanique, résistance à l'eau et à la corrosion, etc.)

❖ **Limitations :**

- ✓ Coût relativement élevé du produit de base jusqu'à 10 fois le coût de l'acier pour une masse identique.
- ✓ Connaissances limitées sur leurs propriétés à long terme, notamment en ce qui concerne :
 - L'adhérence à l'interface béton-composite
 - Manque de ductilité

Absence de normes de design.

Conclusion :

Les matériaux composites, offrent aux industriels et aux designers des possibilités nouvelles d'associer fonction, forme et matériaux, au sein de réalisations, systèmes de plus en plus performants, poids, anisotropie.

Des processus nouveaux de conception d'industrialisation et de fabrication permettent d'étendre les possibilités techniques, et de mieux satisfaire des besoins parfois contradictoires (poids, fonctions) auquel les matériaux homogènes classiques répondent difficilement.

IV) PARTIE EXPERIMENTALE:**1-) L'étude de la composition du béton:**

Le béton est constitué de :

- Ciment ;
- Eau ;
- Sable ;
- Granulats ;
- Adjuvants ;

Le ciment : le ciment utilisé pour la préparation du béton est de type CPJ-CEM/B dans la classe 42,5 ;

Le sable : le sable que nous avons utilisé pour notre béton est de l'oued de Tizi-Ouzou de diamètre maximum de 0,4 mm ;

Les granulats : les granulats que nous avons utilisés, sont de natures roulées leur diamètre varie de 3 à 8 mm ;

Note : le choix du diamètre de granulats :

$D_{\max} \text{ des grains béton} \leq \text{la plus petite dimension de l'élément} / 6$

2-) Analyse granulométrique:

La composition du béton a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (ciment, eau, sable, graviers) en produisant un béton dont l'ouvrabilité est compatible avec les moyens de mise en œuvre et qui possédera, après durcissement, les meilleures caractéristiques (bonne étanchéité, bonne résistance mécanique, faible retrait bonne durabilité ...).

Pour définir ces proportions, on doit passer tout d'abord à l'essai de l'analyse granulométrique puis choisir une méthode de composition de béton parmi celles proposées par des spécialistes tels que BOLOMEY, FAURY, VALLETTE, DREUX-GORISSE, JOISEL ...Etc.

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leur dimension.

2.1) principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs catégories de grains décroissantes.

2.2) Équipements utilisés :

Pour réaliser cette opération, nous avons utilisé les équipements suivants :

- Des tamis de différent diamètre ;
- 1500g de sable et 2000g de granulats ;
- Une balance de 5 Kg. Pesant au gramme près,
- Un vibro-tamis électrique.
- Un étuve thermo statée.

2-3) Description de l'essai :

Les granulats utilisés pour préparer le béton sont de forme concassée et leurs diamètres est 0/3, 3/8, est une fois ces matériaux lavés, ils sont séchés à l'air libre pendant 24 heures. On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre décroissant du front de la colonne vers le bas. Dans la partie inférieure, nous disposons d'un fond étanche qui permet de récupérer les fillers. Un couvercle est disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. On appelle tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériaux retenu.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. Nous considérons que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé, soit R_1 , la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit R_2 , la masse des deux refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre décroissant des ouvertures. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_n aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé. Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau IV-1 : analyse granulométrique pour le sable

Dimension de Tamis [mm]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulés [%]	Tamisât [%]
3,15	49,5	3,306	3,306	96,694
2,5	129,5	8,651	11,957	88,043
1	703	46,96	58,917	41,083
0,8	368	24,582	83,499	16,501
0,5	10,5	0,701	84,2	15,8
0,315	155,5	10,387	94,587	5,413
0,2	63	4,208	98,795	1,205
0,16	8,5	0,567	99,362	0,638
0,08	8	0,534	99,896	0,104
Le fend	1,5	0,1	100	0

Tableau IV-2: analyse granulométrique pour le gravier (3/8)

Dimension des Tamis [mm]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulés [%]	Tamisât [%]
10	2	0,1	0,1	99,9
8	2,5	0,125	0,225	99,775
6,3	659	33,024	33,249	66,751
5	595	29,817	63,066	36,934
4	350	17,539	80,605	19,395
3	300,5	15,059	95,664	4,336
2,5	79,5	3,984	99,648	0,052
1	6	0,3	99,948	0,052
Le fend	1	0,05	100	0

2-4) Module de finesse :

C'est le centième de la somme des refus (exprimé en pourcentage de poids) aux tamis de (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 - 10) mm.

Le module de finesse est particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante.

$$M.F. d'unsable = \frac{\text{Somme des refus aux tamis } 0,16, 0,315, 0,63, 1,25, 2,5 \text{ et } 5 \text{ mm}}{100}$$

$$M.F=3,44$$

On peut noter que c'est un sable grossier qui correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistances élevées.

2-5) Masse volumique absolue :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent.

Nous résultats sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau IV-3 : Masse volumique absolue des granulats.

Granulats	Sable	Gravier (3/8)
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,609	2,727

3-) Composition du béton par la méthode de Dreux-Gorisse:

Cette méthode permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié mais que, seules quelques gâchées d'essai et la confection des éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés.

Les paramètres essentiels utilisés sont :

f_{c28} : résistance en compression à 28 jours d'une éprouvette cylindrique 16*32 ;

A : Affaissement au cône d'Abrams en cm ;

D : Dimension maximale des granulats en mm ;

3.1) Principe de la méthode:

Nous disposons en général des informations suivantes :

- La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrillé,

- La connaissance d'une résistance nominale σ_n en compression à 28 jours et en admettant un coefficient de variation, la résistance moyenne serait :

$$\sigma_{28} = \sigma_n + 15 \% \cdot \sigma_n$$

La résistance désirée pour un béton témoin a 28 jours est : $\sigma_n = 30$ Mpa

La résistance visée vaut alors : $\sigma_n = 30 + (0,15 \times 30) = 34,5$ Mpa .

-La consistance désirée est fonction de la nature de l'ouvrage, de la difficulté du bétonnage des moyens de serrage, Etc ...

-La plasticité désirée mesurée par l'affaissement au cône d'Abrams.

3-2) Mode opératoire :

a-) Dosage en ciment, en eau :

La formule ci-dessous permet le calcul de la résistance à la compression visée à 28 jours, soit :

$$f_c' = G \cdot F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$\text{avec } \frac{C}{E} = \frac{f_c'}{G \cdot F_{CE}} + 0,5$$

f'_c : Résistance visée à 28 jours ;

F_{CE} : classe vraie de ciment en Mpa ;

G : coefficient granulaire ;

C : dosage en ciment (Kg de ciment / m³de béton)

E : dosage en eau (Kg d'eau / m³de béton ou litre d'eau / m³de béton)

3-4) Choix approprié du coefficient granulaire G :

G :est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisie dans le tableau ci après, établi par GEORGE DREUX [DRE .95] .

Tableau IV-4 : valeurs approximatives du coefficient granulaire.

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	D ≤ 16mm	25 ≤ D ≤ 40mm	D ≥ 63mm
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 16 mm, ce qui donne pour des granulats de bonne qualité. Un coefficient granulaire G =0,45.

3-5) Choix de la classe vraie de ciment :

Parmi la liste des ciments disponibles sur le marché des matériaux de construction, nous avons retenu le ciment CPJ-CEM/B42, 5.Sa classe vraie est estimée à $f'_c = 45$ MPa.

Le rapport C/E est donné par :

$$\frac{C}{E} = \frac{\sigma_{n.115}}{G \cdot \sigma_c} + 0,45 = \frac{30 \cdot 1,15}{0,45 \cdot 45} + 0,45 = 2,15 ;$$

3-6) Dosage en ciment par m³ de béton :

Connaissant le rapport $\frac{C}{E}$ et l'affaissement souhaité A au cône d'ABRAMS, nous déduisons, grâce à l'abaque $\frac{C}{E}$ en fonction de A, le dosage en ciment C correspondant.

{C/E = 2,15 , A=7 cm} l'abaque donne la valeur du dosage en ciment : C= 350 kg

{C/E =2,15 , C=350 kg} on en déduit la valeur de E qui est : E=162.79 kg.

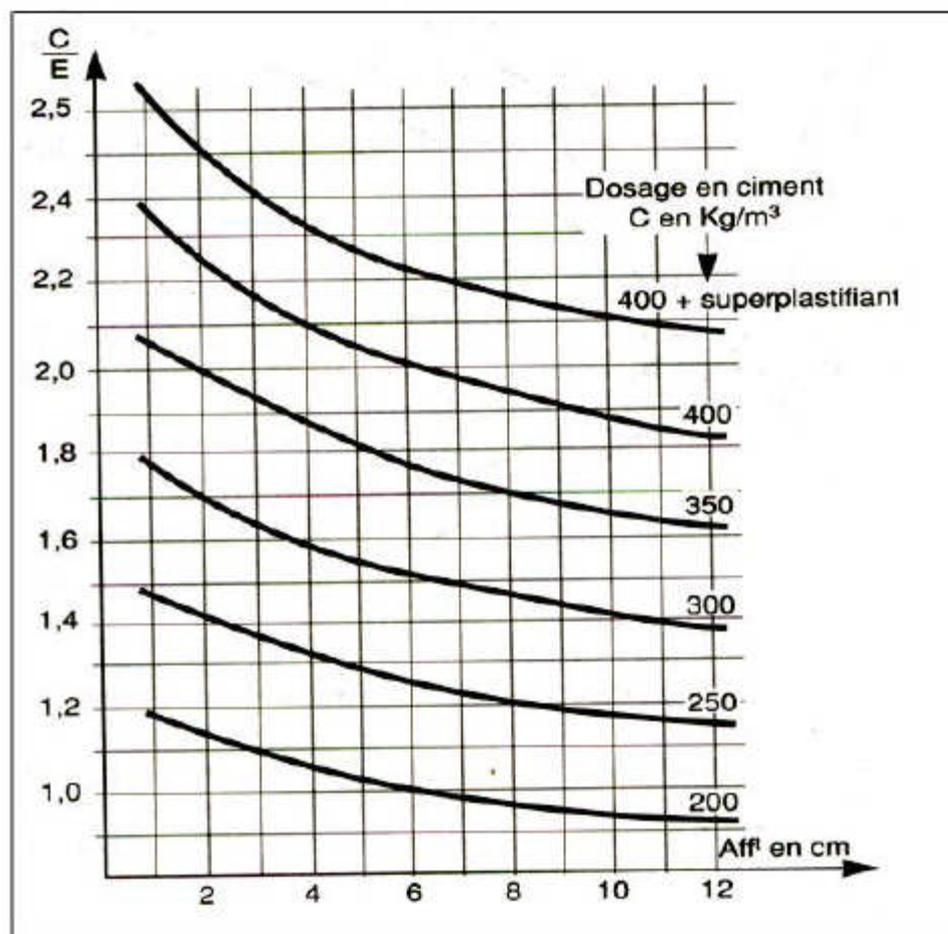


Figure IV :L'abaque C/E en fonction de l'affaissement A

3-7) Tracé de la courbe granulatoire de référence :

Sur le même graphique d'analyse granulométrique, type AFNOR (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis) déjà obtenu, nous traçons une composition granulatoire de référence OAB avec :

- Le point O est repéré par ses coordonnées : [0,08, 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées : [D, 100] ;

(D : le diamètre du plus gros granulat)

Le point de brisure A a les coordonnées suivantes :

En abscisse :

-si $D \leq 20$ mm, l'abscisse est de $D/2$

-si $D > 20$ mm, l'abscisse est située au milieu limite par le module 38(5 mm) et le module correspondant à D. Le plus gros granulat est $D= 8$ mm, donc le point de brisure a

pour abscisse : $D/2=4$ mm

En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + k + k_s + k_p$$

Tableau :la valeur du coefficient de correction k

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage de La forme des granulats roulés ou concassés et du module de finesse de sable.

Comme le module de finesse M_f du sable vaut 3,44, celui-ci est classé comme un sable grossier, la valeur du coefficient de correction k sera calculée par la formule suivante :

$$k_s = 6 M_f - 15 \quad \text{soit} \quad K_s = 5,63 \quad k = +2(\text{tableau}) \quad k_p = 0$$

$$\text{D'où : } Y = 50 - \sqrt{8} + 2 + 5,6$$

$Y = 54,8$ Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : [4 ; 55]

3-7) La ligne de partage :

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de courbe granulaire du plus petit granulats au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulats. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection. Le pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

Nous obtenons donc un mélange optimal avec un volume absolu de 55% de sable et 45% de gravier 3/8.

Sur la courbe de granulométrie les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB, donnent les pourcentages des granulats suivants :

- sable: 55% ;
- gravier 3/8 : 45% ;

3-8) Coefficient de compacité :

Le coefficient de compacité γ est le rapport des volumes absolus des matières solides ($V_m = V_g + V_s + V_c$) au volume total du béton frais en œuvre soit un mètre cube

$$\gamma = \frac{V_g + V_s + V_c}{1000} \quad (\text{en litres}),$$

Avec : V_g : volume absolu du gravier

V_s : volume absolu du sable

$V_c = C/3,1$ volume absolu du ciment

Ce coefficient γ est fonction de :

D_{MAX} : dimension maximale des granulats ;

C : dosage en ciment et E dosage en eau ;

G/S : rapport de composition gravier, sable forme des granulats (concasses ou roulés) ;

Moyen de serrage (vibration, piquage) ;

Tableau IV-5 : valeur du coefficient de compacité γ

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité [D R E. 95] et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 8 mm, on trouve une valeur de $\gamma = 0.8$

3-9) Dosage des granulats :

Les dosages en volume de chaque constituant du béton sont donnés par les relations ci-dessous :

Volume absolu du ciment :

$$V_C = \frac{350}{3,1} = 112,9 \text{ litres}$$

Avec :

m_C : dosage(en masse) de ciment.

$\gamma = 3,1$ g/ml masse volumique du ciment ;

Volume absolu des granulats (l'ensemble) :

$$V = 1000 \gamma - V_C = 1000 \times 0,8 - 112,9 = 687,1 \text{ litres}$$

Volume absolu du sable :

$$V_s = \frac{V_{g.55}}{100} = 377,9 \text{ litres.}$$

Volume absolu du gravier 3/8 :

$$V_{g3/8} = \frac{V_{g.45}}{100} = 309,195 \text{ litres.}$$

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1 m^3 de béton sont donnés par :

Masse du sable : $M_s = V_s \times \gamma_s = 985,94 \text{ kg}$

Masse du gravier 3/8 : $M_{g3/8} = V_{g3/8} \times \gamma_{g3/8} = 843,17 \text{ kg}$

3-10) Pour préparer 1 m^3 de béton, il faudra donc les masses suivantes :

Tableau IV-6 : composition final pour 1 m^3 de béton.

Matériaux	Volume (l/m^3)	Volume (kg/m^3)
Sable	377,9	985,94
Gravier 3/8	309,195	843,17
Eau	162,79	162,79
Ciment	112,9	350
E/C	1,44	0,47

4-) Les fibres utilisées :

1-Tissus de verre ou Roving (taffetas) :

Armure de produits textiles tissés pour lesquels chaque fil de chaîne passe alternativement au dessus et au- dessous de chaque fil de trame et réciproquement.

Propriétés

- Résistant à la traction, aux chocs et à l'usure.
- Pose aisé sur tous supports.
- Combustible.
- Très bonne stabilité dimensionnelle.
- Non toxique.
- Imputrescible.



Figure IV-1 : Tissu de verre

2-) le grillage polypropylène :

Le grillage polypropylène provient du marché, vendu par mètre sous forme d'un grillage. Il a été coupé pour avoir un maillage adéquat à la dimension de la dalle, l'enrobage est pris en compte.

Propriétés

- Léger
- Faible coût
- Résistant à la traction

- Résistant aux chocs

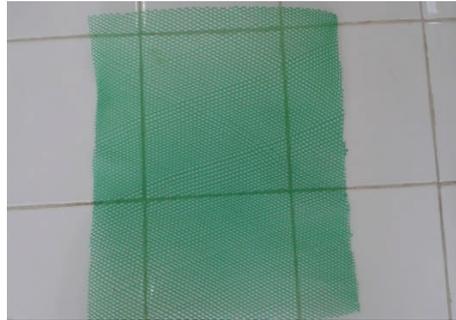


Figure IV-2 : Grille polypropylène

3-) Treillis soudés :

Le treillis soudé provient du marché, de diamètre 4 [mm], il a été façonné de manière à avoir un maillage adéquat à la dimension de la dalle (nombre de mailles x7), l'enrobage est pris en compte.



Figure IV-3: treillis soudé

5-) Quantité utilisés pour la réalisation des différentes gâchées :

- Quantités nécessaire pour l'essai de compression :

Pour un cylindres (10x20) cm

$$V_{\text{Cylindre}}=1570[\text{cm}^3]$$

❖ **Majoré de 10 % [kg]**

Matériaux	1 cylindre	3 cylindres
Sable [kg]	1,705	5,115
Gravier 3/8 [kg]	1,452	4,356
Eau[l]	0,29	0,9
Ciment [kg]	0,605	1,8

- Quantité nécessaire pour l'essai de poinçonnement :

Pour une dalle (36x36x3) cm

$$V_{\text{dalle}}=3888 [\text{cm}^3]$$

❖ **Majoré de 10 % [kg]**

Matériau	1 dalle	6 dalles
Sable [kg]	4,21	25,57
Gravier [kg]	3,59	21,59
Eau [l]	0,7	4,2
Ciment [kg]	1,5	9

6-)Étapes de la réalisation des différentes gâchées :

6-1) Préparation et fabrication des moules :

La forme des moules utilisés pour la réalisation des dalles de (36x36x3) cm sont des moules carré en bois de dimensions (36x36x3), le malaxage permettant le coulage de six dalles à la fois.

Pour les cylindres (10x20) cm, nous avons utilisé des moules métallique.



Figure IV-4 : forme des moules

6-2) Malaxage du béton :

Après avoir pesé les quantités des matériaux utiles, on les a introduites dans le malaxeur. Le malaxage de béton est réalisé avec un malaxeur à axe vertical de capacité 65 L, l'opération est arrêtée après l'obtention d'une consistance homogène du mélange.

Les moules étant huilés. La mise en place du béton dans les moules a été effectuée dans les différents moules destinés aux éprouvettes programmées aux essais, et suivie de vibration à l'aide d'une table vibrante.



Figure IV-5 : Malaxeur et table vibrante

6-3) La réalisation du béton

- Disposer le sable dans le malaxeur, ajouter le gravier et le ciment malaxé pendant deux minutes.
- Verser de l'eau de gâchage et mélanger avec une truelle pendant quelques minutes.
- En fin rajouter entièrement l'eau de gâchage, puis bien malaxer jusqu'à l'homogénéisation du béton.

La vibration se fait pendant 15s à mis hauteur du remplissage des cylindres et des dalles, puis au remplissage final.

❖ Réalisation du béton à un seul renfort :

La réalisation du béton à un seul renfort se fait comme suite :

Le renfort est disposé sur une couche de béton de 1 [cm], puis recouvert d'une autre couche de 2 [cm].

La vibration se fait pendant 15 secondes sur la table vibrante pour la première puis pour la dernière couche.

❖ La réalisation du béton à deux renforts :

La disposition des fibres se fait comme suite :

- Le premier renfort est disposé sur une couche de béton de 1[cm], puis recouvert d'une autre couche de 1[cm] on dispose ainsi le deuxième renfort puis recouvert d'une autre couche de 1[cm].

La vibration se fait pendant 15 secondes sur la table vibrante pour la première puis pour la deuxième couche puis la dernière couche.

- Une fois coulés, les échantillons ont été recouverts d'un film plastique humide pour éviter l'évaporation de l'eau (effet de retrait).
- Le démoulage a été effectué après 24 heures.
- Après le démoulage toutes les éprouvettes ont été émergées dans un bac à eau pendant 28 jours.

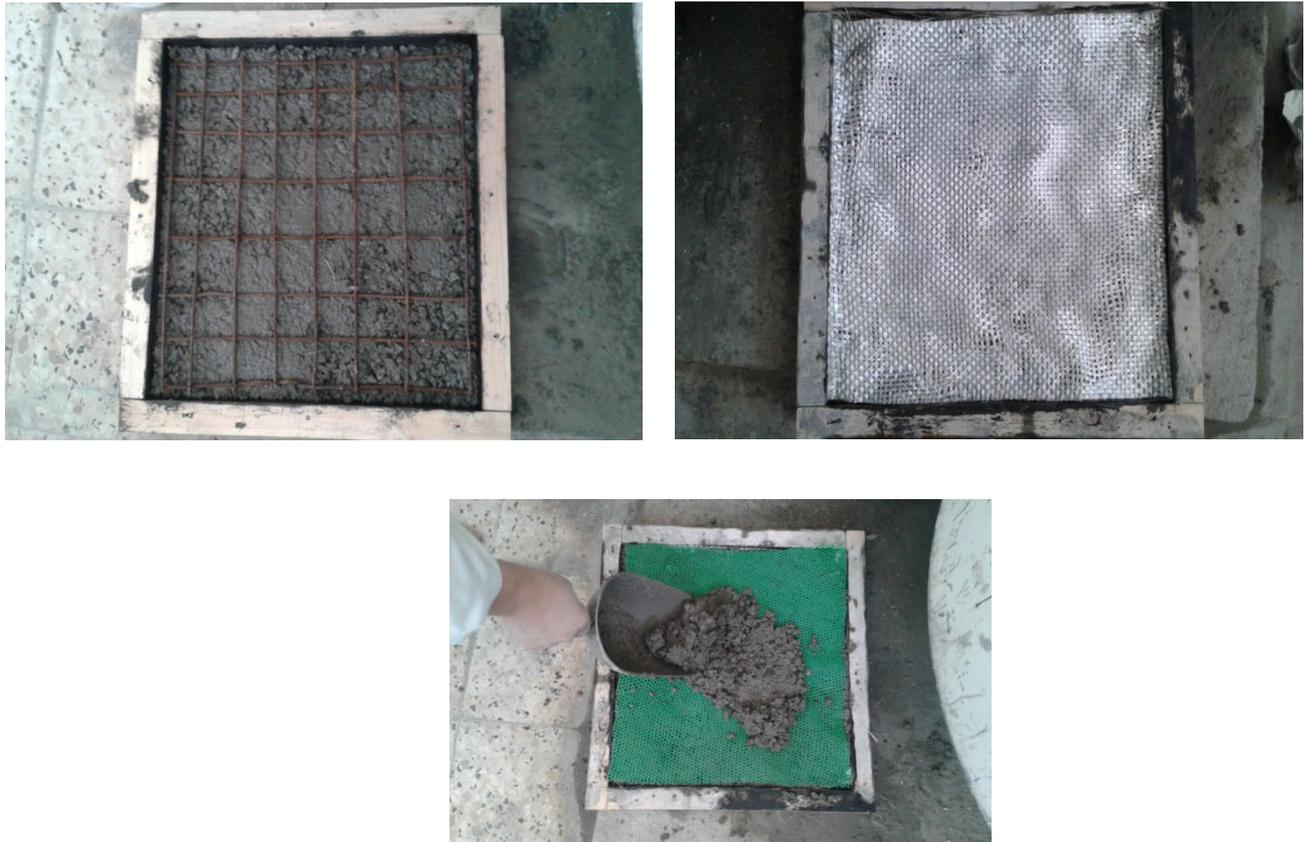


Figure IV-6 : Réalisation des dalles multicouche

7-) Essais mécanique :

7-1) Essais de compression :

- ❖ **Détermination de la résistance mécanique en compression uni axiale de béton :**

Les spécimens utilisés pour déterminer la résistance mécanique en compression du béton étudiés sont des éprouvettes cylindriques de diamètre 10 cm de hauteur 20 cm.

Le test de compression est effectué sur une presse hydraulique équipée d'une cellule de force d'une capacité 5000 KN. L'essai s'effectue avec une vitesse de chargement de 0,5 Mpa /s soit 5KN/s selon la norme NF 12390-3.

Cette presse dispose d'un capteur de force très précis, elle nous donne la force et la contrainte.

L'opération consiste à mettre l'éprouvette dans la presse et de mettre en place un comparateur pour mesurer les déformations d'un pas de 10 KN.

❖ **Résultats obtenus des essais de compression :**

Béton témoin :

La moyenne obtenue des déplacements mesurés avec le comparateur longitudinal sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau IV-7 : La moyenne des deux éprouvettes cylindriques : béton témoin

Force [KN]	$\Delta L_1 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L_2 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L_3 \times 10^{-3}$ [mm]	$\Delta L \times 10^{-3}$ [mm]	$\varepsilon L \times 10^{-3}$	σ [Mpa]
10	0	0	3	1	0.005	1.27388535
20	20	115	170	101.6667	0.5083	2.5477707
30	95	169	320	194.6667	0.9733	3.82165605
40	145	289	370	268	1.34	5.0955414
50	190	349	445	328	1.64	6.36942675
60	230	405	532	389	1.945	7.6433121
70	314	499	579	464	2.32	8.91719745
80	351	540	638	509.667	2.548	10.1910828
90	382	575	712	556.333	2.782	11.4649682
100	425	665	749	613	3.065	12.7388535
110	505	721	810	678.667	3.3933	13.0127389
120	559	764	931	751.333	3.7566	16.2866242
130	611	812	1150	857.667	4.2883	18.5605096
140	645	910	/	518.333	5.5916	20.8343439
150	735	980	/	571.6667	6.8583	22.1082803
160	892	1000	/	630.666	7.153	24.382165

Avec :

ΔL : déplacement longitudinal en mm ;

ε_L : déformation longitudinale, $\varepsilon_L = \Delta L / L$ avec $L = 200\text{mm}$, $\varepsilon_T = \Delta T / T$;

σ : contrainte en MPa, $= F / S$,

F : Force en KN ;

S : Section géométrique du cylindre en mm^2

$$S = \pi D^2 / 4 = 3.14 \times 100^2 / 4 = 7850 \text{ mm}^2.$$

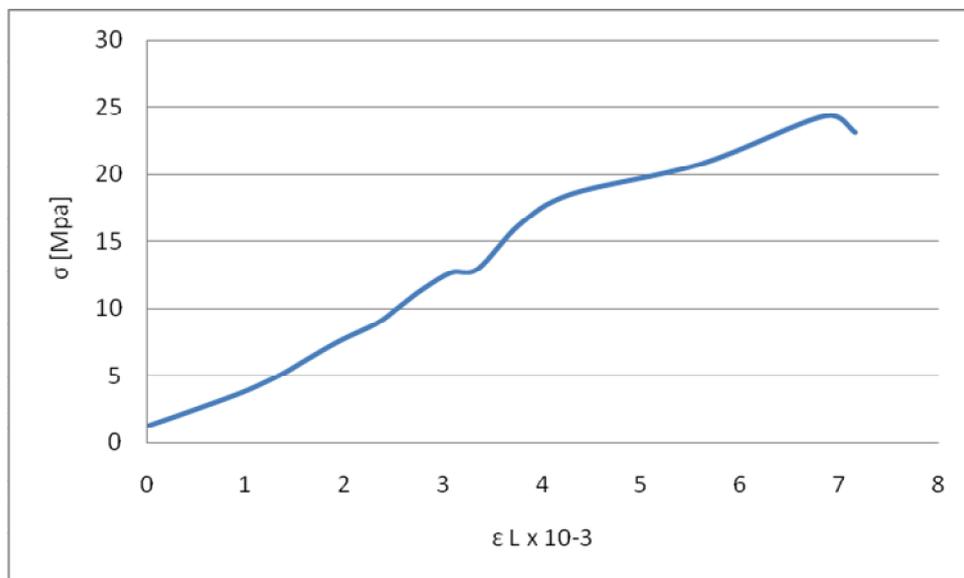


Figure IV-7 : Courbe contrainte déformation de béton témoin

7-2) Essais de poinçonnement

❖ Détermination de la résistance mécanique par poinçonnement :

La machine universelle d'essais IBERTEST MOdELIB-200EW permet d'exécuter des essais de traction, compression, poinçonnement, flexion, pliage, cisaillement

Sa capacité est de 200 KN, pour l'essai de poinçonnement, utilisant un seul espace de travail.

Le bâti a été projeté de façon à disposer d'une très haute rigidité structurale, pour qu'au moment de la rupture de l'éprouvette, le bâti lui-même absorbe la plupart de

l'énergie libérée. L'installation est contrôlée 100% de puis le clavier de l'ordinateur complétement avec un logiciel pour des essais.

Les forces d'essais sont exécutées par un système de transmission actionne par un servomoteur qui provoque des sollicitations a compression en descendant et a traction en montant.

Cet essai fournit plusieurs caractéristiques du matériau notamment :

- Le module d'young E ;
- L'allongement à la rupture R_m ;
- La déformation plastique ;
- La résistance à la traction ou tension de rupture R_r .

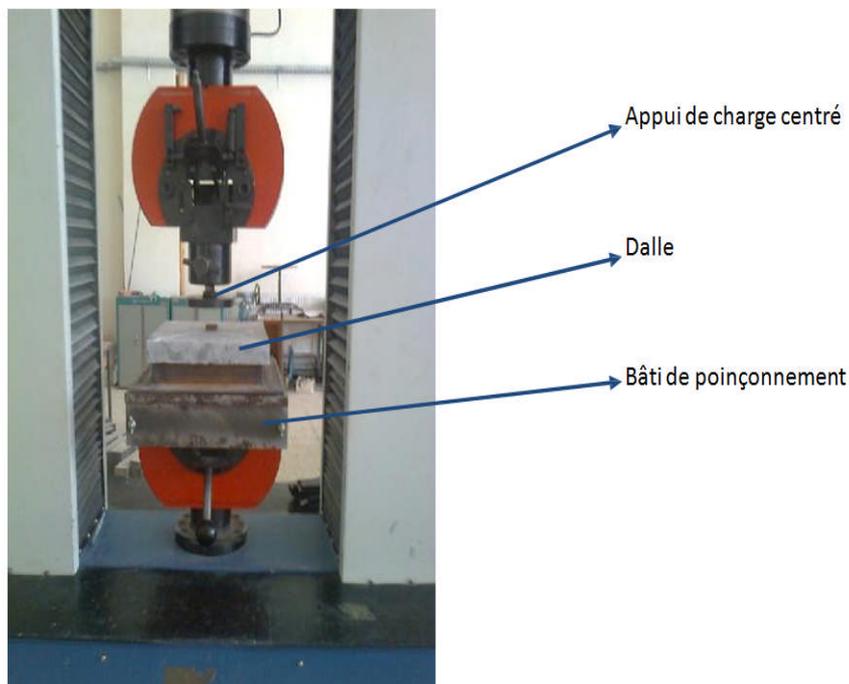


Figure IV-8 : Machine d'essai IBERTEST

❖ Résultats des essais et discussions :

Les résultats des essais sur les dalles en béton témoin BT (béton seul) et béton renforcé de tissus fibre sont représentés par les figures qui suivent :

1-) béton témoin :

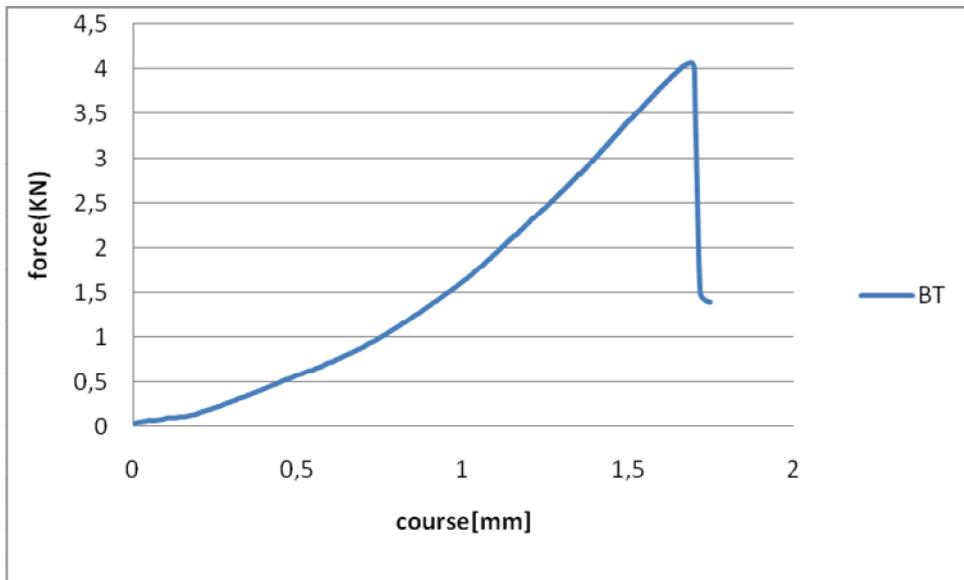


Figure IV-9 : Courbe force déplacement du béton témoin

2-) béton et acier :

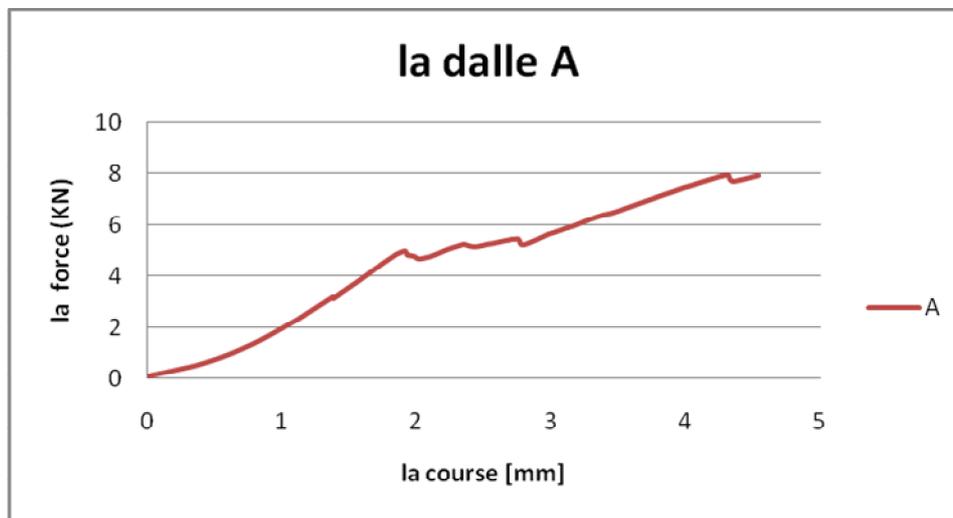


Figure IV-10 : courbe Force déplacement du béton armé.

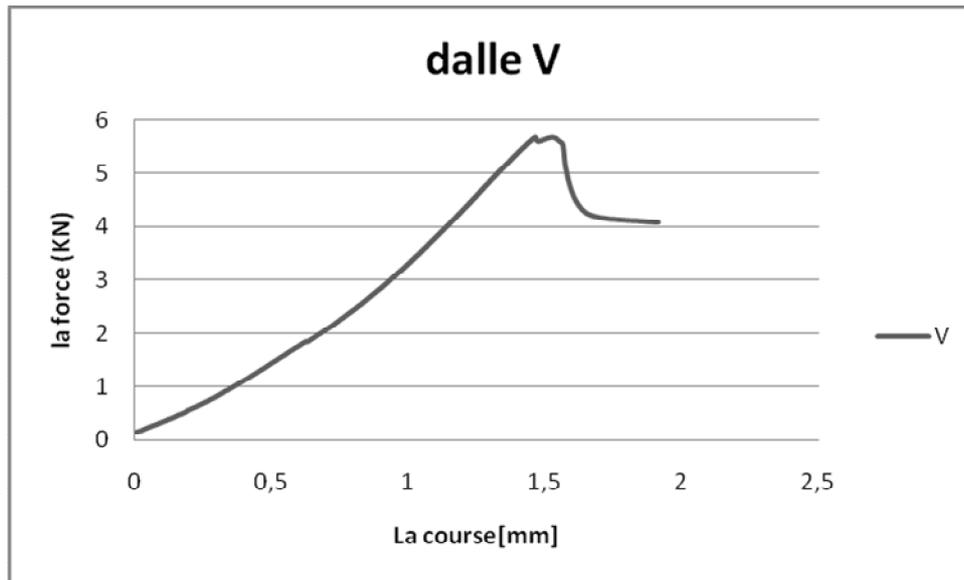


Figure IV-11 : Courbe force course du dalle tissu verre ;

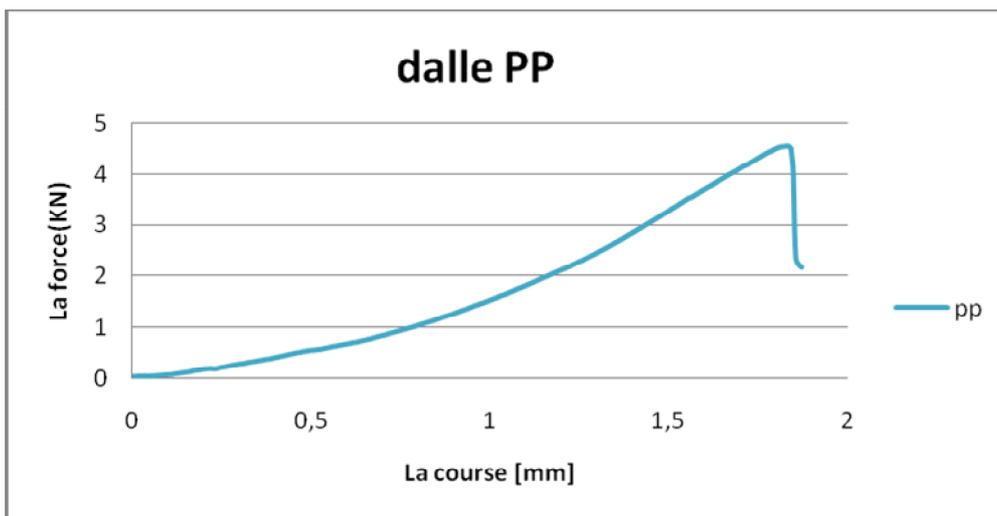


Figure IV-12 : La courbe Force course du la dalle avec un grille polypropylène

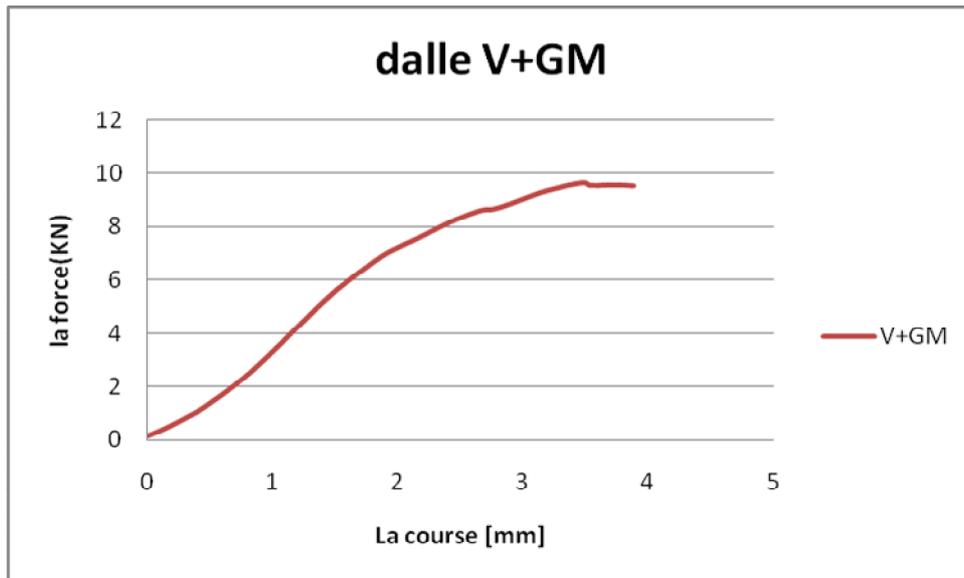


Figure IV-13 : Courbe force course de la dalle avec un tissu de verre et grille métallique

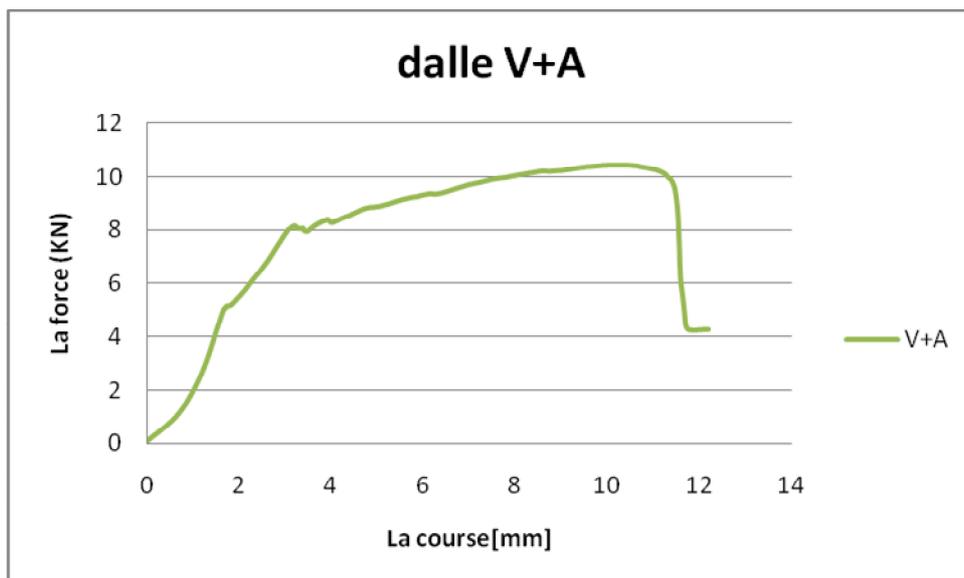


Figure IV-14 : courbe force course du béton armé avec tissu de verre

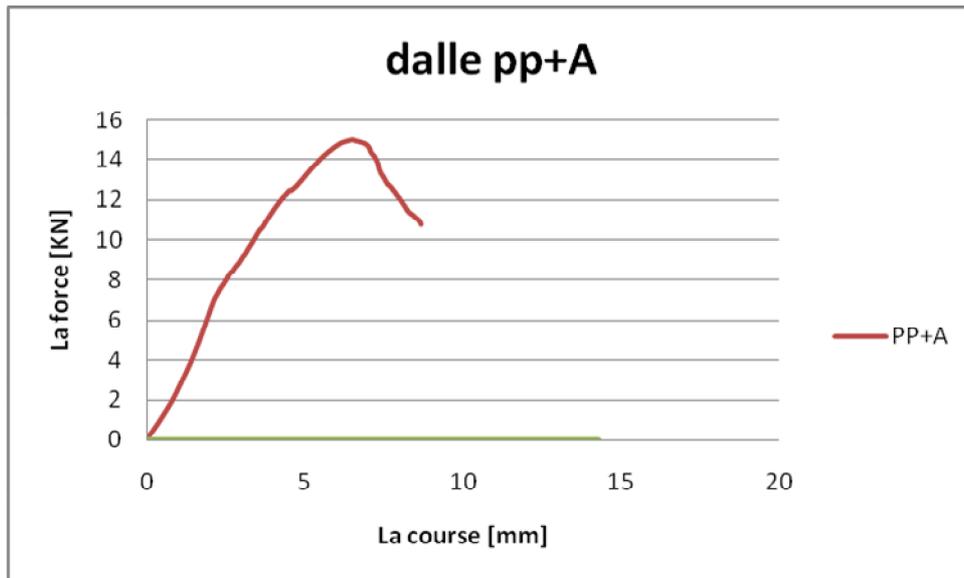


Figure IV-15 : courbe force course du béton armé avec grille de pp



Figure IV-16 : Comparaison avec béton armé et béton polypropylène

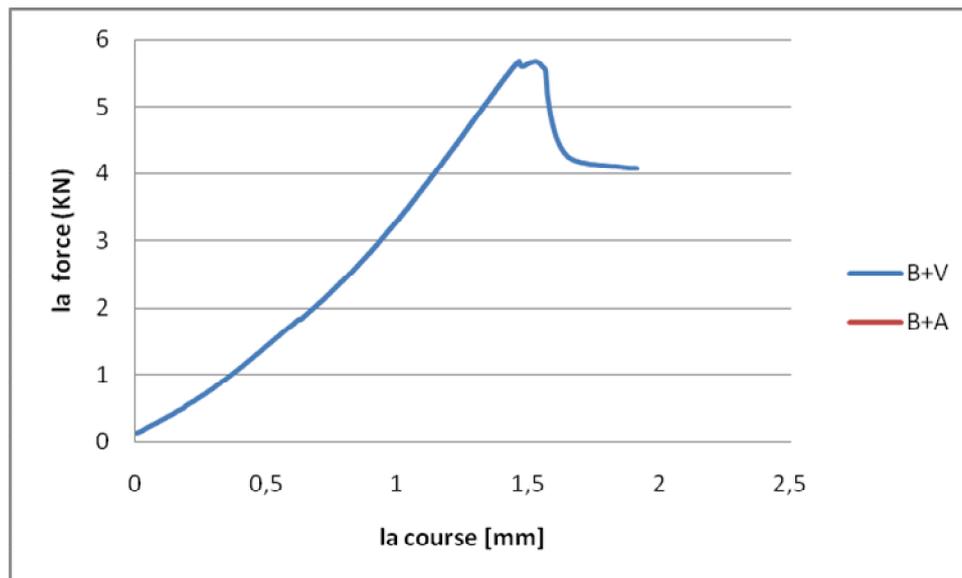


Figure IV-17 : Comparaison de béton verre et béton armé

Interprétation des résultats

On remarque que pour les dalles armées de verre la force de rupture est plus importante, en effet on a un gain l'ordre de 35% par rapport aux dalles armés d'acier seul. Mais elles sont moins ductiles.

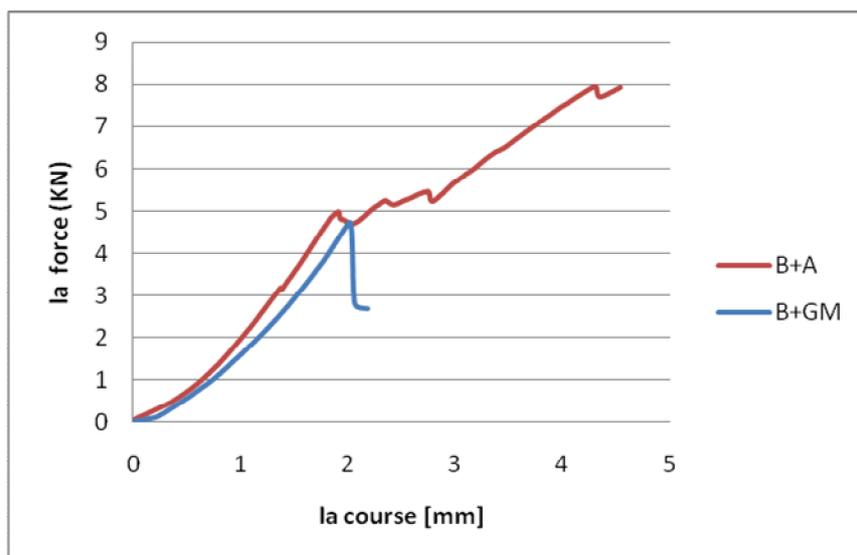


Figure IV-18: Comparaison entre béton armé avec béton de grille métallique

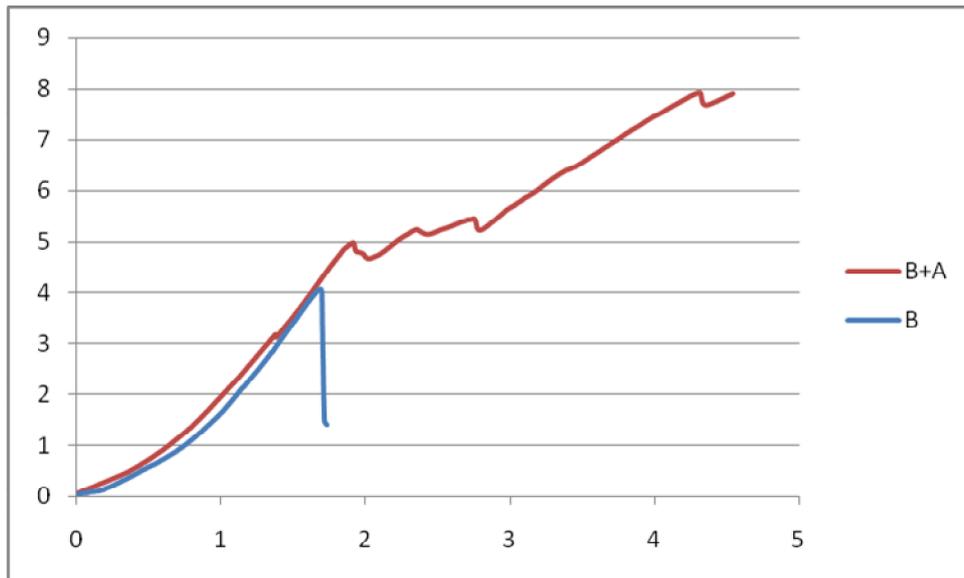


Figure IV-19 : Comparaison entre béton témoin et béton armé

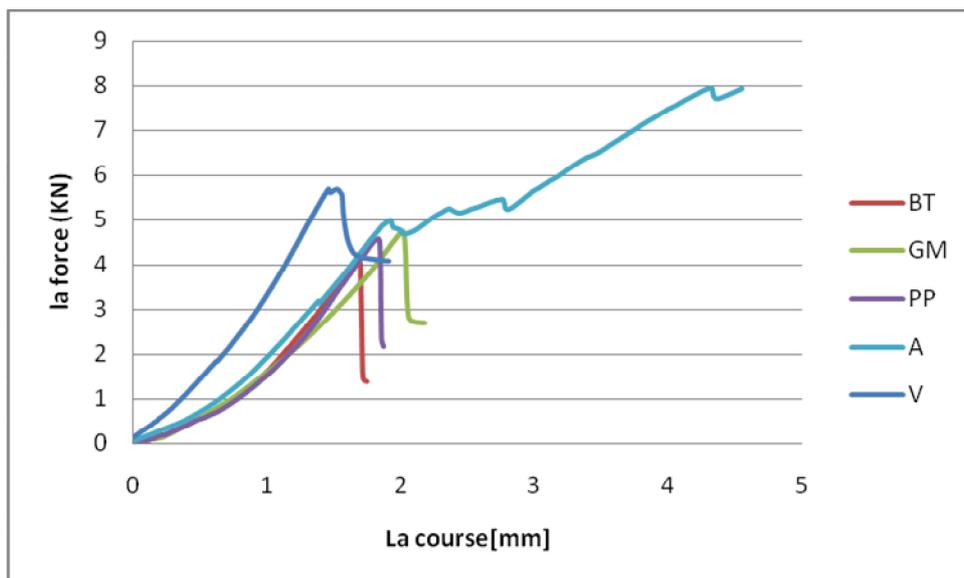


Figure IV-20: Comparaison du béton témoin et béton tissé pour l'essai de poinçonnement

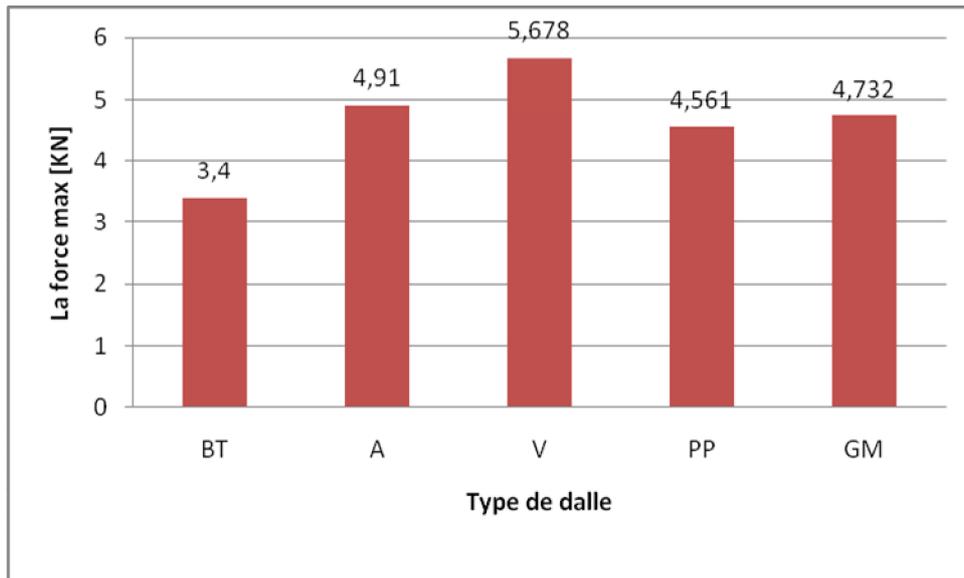


Figure IV-21: histogramme de Comparaison entre le béton témoin et béton tissé pour l'essai de poinçonnement

❖ **Interprétations et discussions :**

L'analyse des différents résultats obtenus montrent clairement l'amélioration en termes de résistances de la dalle en béton armé de grilles dans le cas d'un seul renfort. Cette amélioration est relativement fonction de la nature des grilles, L'analyse des courbes de la figures IV-20,21, montre clairement que les dalles de béton avec une nappe de grilles en fibres de verre, donne le meilleur comportement. Ce qui peut être expliqué par la résistance du verre à la traction. En effet, on relève une augmentation de la force optimale de l'ordre de 5,67(KN).

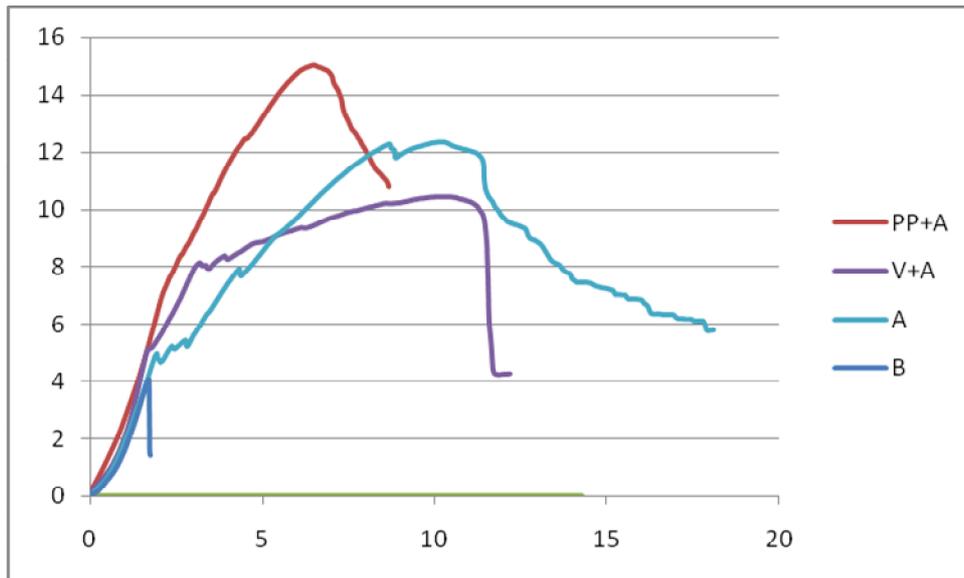


Figure IV-22 : Comparaison entre le béton et béton armé de fibre pour l’essai de poinçonnement

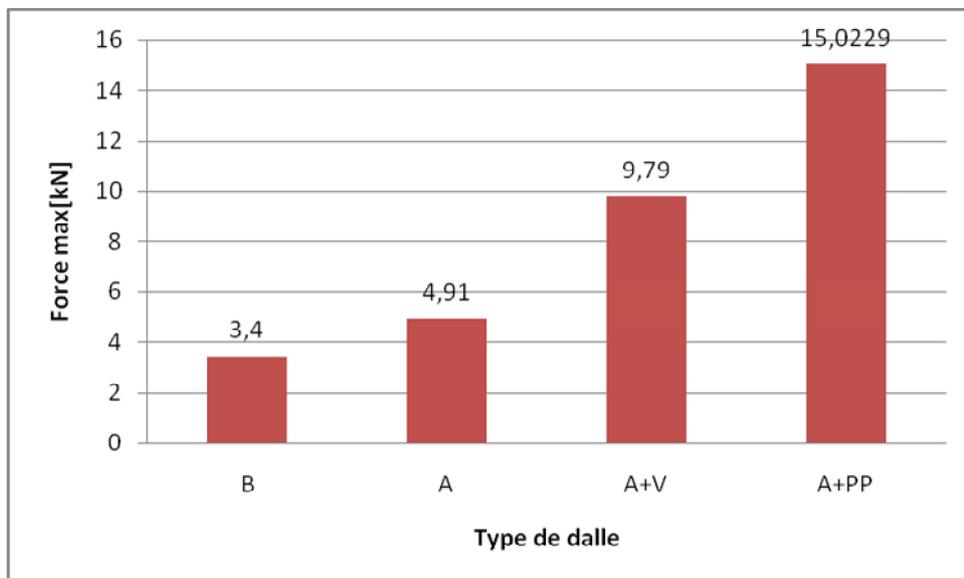


Figure IV-23 : histogramme de Comparaison entre le béton et béton armé de fibre pour l’essai de poinçonnement

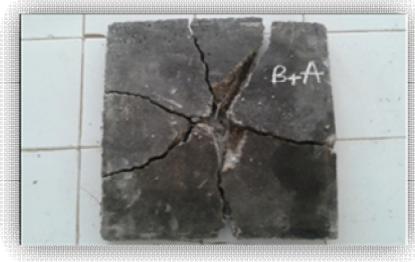
❖ **Interprétations et discussions :**

Et dans le cas des dalles à deux renforts la figure IV-22, Et L’histogramme IV-23 montre qu’on a un gain très important en termes de déformabilité pour la dalle armée d’une nappe d’acier au niveau de la fibre inférieure et une grille de

polypropylène au niveau de la fibre supérieure. En effet on a un gain l'ordre de 93% par rapport aux dalles armées d'acier seul.

Tableau IV-8 : Mode de rupture des dalles

	Béton acier	Rupture par Poinçonnement
	Béton + grille polypropylène	Rupture par flexion
	Tissu de verre + grille polypropylène	Rupture par flexion

	<p>Béton acier + tissu de verre</p>	<p>Rupture par Poinçonnement</p>
	<p>Béton + grille métallique</p>	<p>Rupture par Poinçonnement</p>
	<p>V+PP</p>	<p>Rupture par flexion</p>

Conclusion

Ce travail c'est porté sur l'étude du comportement des dalles armées de composites soumises au poinçonnement centré, pour l'analyse multicouche des dalles, nous nous sommes intéressés au renforcement du béton par des fibres de polypropylène, tissu de verre, et treillis soudés.

la recherche bibliographique nous a permis de conclure que la réparation par collage de tôles métalliques ou matériaux composites a l'inconvénient du décollement de la couche de renforcement

Les résultats des essais effectués sur des dalles renforcées par une seule nappe montrent que le meilleur résultat est obtenu pour les dalles renforcées par la fibre de verre ce qui peut être expliqué par son l'importante résistance a la traction,

Les résultats des essais effectués, sur les dalles renforcées par deux nappes montrent que le meilleur résultat est obtenu pour les dalles renforcées par l'acier a la fibre inferieure et le polypropylène a la fibre supérieure ce qui peut être expliqué par la déformabilité élevée du polypropylène,

La contribution du composite dans la résistance des dalles au Poinçonnement peut être considérée et s'explique par deux phénomènes :

- L'augmentation de la résistance du béton a la traction; et par conséquent ;
- L'augmentation de la contribution du béton dans la résistance au poinçonnement ;
- L'effet goujon du composite qui s'ajoute à celui des armatures après fissuration.

Perspectives

Certains aspects n'ont pas pu être traités dans ce travail et méritaient une étude Complémentaire. Parmi les plus importants, on peut citer :

- Comme suite de ce travail il est préférable de faire des simulations numériques et les confronter avec les résultats expérimentaux
- Tenir compte de l'effort tranchant provoqué par le poinçonnement autour de la colonne.

Références Bibliographiques

[1] : ELHOUSSAIN R, 2004 contributions à analyse du comportement mécaniques de dalles en béton armé renforcées par matériaux composites, thèse de doctorat 16/12/2004, université CLAUDE BERNARD LYON.

[2] : GASTON KRUGER, ingénieur civil diplômé EPF de nationalité suisse [résistance au poinçonnement symétrique des dalles en béton armé]. (1999), école polytechnique fédérale du LAUSANNE EPFL (1999).

[3] : Guide de travaux pratique [connaissance des essais des sols et des produits composés]

[4] : Livre Nouveau guide de béton

[5] : architectes : PIERRE T. SERGE S, Cahier des modules de conférence pour les écoles d'architecte naissance et développement (1818-1970).

[6] : Dr Ir P BOERAEVE ,2011 [manuel de calcul de béton armé selon EN 1992-1(12/2004) et annexe belge de (02/2006)

[7] : Fiche aide mémoire, Groupe des écoles EIER-ETSHER, Formulation complète de béton [béton et mortier], Mars 2004

[8] : Glossaire matériaux composites – (CARMA) Centre D'animation Régional En matériaux avancés –Actualisation octobre 2006

[9] : MERDAS ABDE-ELGHANI ,2005 utilisation du TFC dans la réparation et le renforcement des poutres en béton armé, thèse de magister, université des frères Mentouri-Constantine

[10] : Cours matériaux et ouvrages de génie civil (uni Akli Mohand de Buir)

[11] : Nadia Bahlouli Maître de conférences, université de Strasbourg, France (cours matériaux et ouvrages de GC) ,2011

[12] : livre matériaux composites (Jean-Marie Berthelot)

[13] : livre Matériaux composites (Claude Bathias et Col)

[14] : professor Anh Dung NG, Ecole de technologie supérieure Montreal Canada .cours mécanique des matériaux composites [analyse des stratifiés] ,2014

