



République algérienne démocratique et populaire

Université Akli Mohand Oulhadj

BOUIRA



Institut de Technologie

**Rapport de soutenance**

En vue de l'obtention du diplôme  
de Licence professionnalisant en :

**Génie chimique**

**THÈME :**

**Influence des fibres métalliques sur les  
comportements mécaniques de béton.**

Réalisé par

KARNACHE Sofiane

Encadré par

BETTAYEB Souhila

**Année : 2017 / 2018**

## REMERCIEMENTS

*Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir accordé la santé et le courage pour arriver au terme de ce travail. Je remercie sincèrement ceux qui ont, de près ou de loin contribué à la réalisation de ce mémoire, fruit de mon premier pas dans l'univers de la recherche.*

*Je commencerai par remercier Mlle: SOUHILA BETTAYEB qui m'a orienté et m'a conseillé.*

*Je remercie également le président et les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude et mon profond respect, à mon enseignant Mr : HAMID HAKIM pour sa disponibilité et son aide précieuse qui m'ont été d'une grande utilité.*

*Mes remerciements vont également à toute l'équipe du laboratoire d'analyse au niveau de l'entreprise de la cimenterie de Sour-El-Ghozlane.*

*Je tiens à remercier profondément et très chaleureusement les deux personnes les plus chères à mon cœur, mes parents, pour leur soutien et encouragement durant tout mon cursus.*

*Je remercie également toute ma famille, tous mes amis et toute ma promo.*

## *DEDICACES*

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui m'ont toujours  
poussé et motivé dans mes études, Sans eux je n'aurai  
certainement pas fait cela.*

*Ce mémoire représente donc l'aboutissement de soutien et des  
encouragements qu'ils m'ont prodigué tout au long de ma scolarité.*

*Qu'ils en soient remerciés par ce trop modeste travail.*

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Chapitre I : Présentation de l'entreprise</b>	<b>2</b>
1.1	Identification d'usine	2
1.2	Organigramme de SCEG	3
<b>2</b>	<b>CHAPITRE II: Généralités sur les ciments</b>	<b>5</b>
2.1	Introduction	5
2.2	Définition du ciment	5
2.3	Procédés et techniques de fabrication du ciment	6
2.4	Techniques de fabrication	6
2.4.1	Extraction des matières premières	7
2.4.2	Stockage et broyage des matières premières	7
2.4.3	Cuisson pour obtention du clinker	8
2.4.4	Broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment	10
2.4.5	Stockage, ensachage et expédition	10
2.5	Constituants principaux du ciment et les additions	10
2.5.1	Le clinker	10
2.5.2	La composition chimique	11
2.6	Catégories des ciments	12
<b>3</b>	<b>Chapitre III : méthodes et matériels</b>	<b>13</b>
3.1	Préparation des éprouvettes	13
3.2	Analyse effectuées sur le ciment	17
3.2.1	Détermination de l'anhydride sulfurique (SO <sub>3</sub> )	17
3.2.2	Dosage de l'oxyde de fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	19
3.2.3	Détermination de la CAO	20
3.2.4	Détermination de la silice (SiO <sub>2</sub> )	21
3.2.5	Dosage de l'oxyde d'aluminium (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	21

3.2.6	Dosage de la MgO :.....	22
<b>4</b>	<b>CHAPITRE IV: Résultats et interprétations</b> :.....	<b>24</b>
4.1	Introduction :.....	24
4.2	Propriétés du ciment utilisé :.....	24
4.3	Propriétés mécaniques des éprouvettes renforcés avec les fibres métalliques :.....	25
<b>5</b>	<b>conclusion</b> :.....	<b>28</b>

# Liste des Figures

<b>Figure 1-1: la situation géométrique.....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 2-1: ciment produit par l'entreprise.....</b>	<b>6</b>
<b>Figure 2-2: Procèdes et techniques de fabrication du ciment.....</b>	<b>6</b>
<b>Figure 2-3: Schéma de tour échangeuse.....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 2-4: Four rotatif à ciment 'le cœur de la cimenterie'.....</b>	<b>10</b>
<b>Figure 2-5: Composition chimique du clinker.....</b>	<b>11</b>
<b>Figure 3-1: Sable normalisé, pesée d'eau et de ciment (respectivement).....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 3-2: Etapes de préparation des éprouvettes et matériel utilisé : malaxeur, ajout de fibres, Enlèvement de l'excès de mortier, armoire humide, démoulage des éprouvettes, Conservation des éprouvettes dans l'eau (respectivement).....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 3-3: Figure III.3: Appareil de compression et de flexion.....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 3-4: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 3-5: Dispositif de rupture en compression.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 4-1: variation de la résistance à la compression en fonction du temps.....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 4-2: variation de la résistance à la flexion en fonction du temps.....</b>	<b>26</b>

# Liste des Tableaux

<b>Tableau 2-1: Composition chimique du clinker de ciment portland ordinaire.....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 2-2: Principales catégories de ciment.....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau 4-1: propriétés chimiques du ciment utilisé.....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau 4-2: propriétés physiques de ciment utilisé.....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau 4-3: propriétés mécaniques de l'éprouvette sans fibres métalliques.....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau 4-4: propriétés mécaniques de l'éprouvette avec 0.5% de fibres métalliques.....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau 4-5: propriétés mécaniques de l'éprouvette avec 1% de fibres métalliques.....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau 4-6: propriétés mécaniques de l'éprouvette à 1.5% de fibres métalliques.....</b>	<b>25</b>

## **Notation et Abréviation**

C<sub>3</sub>S : Alite ou Silicate tricalcique.

C<sub>2</sub>S : Bélite ou Silicate Bicalcique.

C<sub>3</sub>A : Aluminate Tricalcique.

C<sub>4</sub>AF : Aluminoferrite Tétracalcique.

CaCO<sub>3</sub> : Carbonate de Calcium ou Calcaire.

CaO : Chaux Libre.

Ca(OH)<sub>2</sub> : Hydroxyde de Calcium ou Portlandite.

CO : Monoxyde de Carbone.

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de Carbone.

A : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

C : CaO.

SCEG : La société de ciment de Sour-El-Ghozlane.

ERCC : L'entreprise des ciments et dérives centre.

## ملخص

الغرض من هذا العمل هو قياس تأثير الألياف المعدنية على السلوك الميكانيكي للخرسانة، فيما يتعلق بقوة الانضغاط وقوة الانحناء. لهذا الغرض، تم استخدام اربعة مخاليط، خرسانة خالية من الليف تعمل كخرسانة مراقبة تم تحديدها BO أجريت الدراسة التجريبية على عينات سميت ب BFM مدعومة بألياف معدنية مع ثلاث جرعات من الألياف، تم تحديد الخصائص الهندسية المتكيفة مع الاختبارات التي أجريت. والنتائج التي تم الحصول عليها وضحت أن الانكماش يتناقص مع زيادة الجرعة الليفية، وأن إضافة الألياف يؤدي إلى زيادة خفض الشد الانحناء وتحسين الليونة.

## Résumé

Le but de ce travail est de quantifier l'effet des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton, concernant la résistance à la compression et à la flexion. A cet effet quatre mélanges ont été utilisés, un béton sans fibres servant de béton témoin identifié sous le nom BO, et un béton renforcé de fibres métalliques avec trois dosages de fibres, identifié BFM. L'étude expérimentale a été menée sur des éprouvettes de caractéristiques géométriques adaptées aux essais effectués. Les résultats obtenus montrent que le retrait diminue au fur et à mesure qu'on augmente le dosage en fibres, et que l'addition des fibres entraîne une augmentation de la résistance à la traction par flexion et une amélioration de la ductilité, on constate aussi une diminution de la résistance à la compression en fonction du taux de fibres métalliques.

## INTRODUCTION

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité. L'industrie du ciment occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations. Elle est un élément nécessaire pour la réalisation des projets de construction dans les domaines industriels, économiques, sociaux et culturels tout en répondant aux exigences futures de la conservation des ressources naturelles et la protection de l'environnement. En Algérie, la production du ciment est basée sur deux raisons essentielles :

- a) Répondre à la demande croissante des consommateurs de cette matière dans notre pays en augmentant la production annuelle des cimenteries par l'apport des ajouts inertes.
- b) Trouver des matériaux auxiliaires pour augmenter le rendement et la qualité de ciment.

Dans le contexte du deuxième point et vu que dans le processus de fabrication du ciment, j'ai essayé de faire une étude sur la caractérisation et le comportement mécanique du béton renforcé de fibres métalliques. Pour mieux connaître l'influence du taux de fibres métalliques sur ce comportement, une campagne d'essais sur matériau a été effectuée. Le comportement à la traction par flexion, et à la compression est analysé pour différents essais.

Le béton aux fibres métalliques est devenu un des bétons spéciaux les plus utilisés, attirant ainsi la réflexion des chercheurs. Son comportement mécanique, est parmi les domaines les plus investis et demeurent à nos jours encore à conquérir. La dernière décennie a connu d'énormes travaux qui ont visé à mieux comprendre le rôle joué par la présence des fibres et de pouvoir l'améliorer davantage. Les modifications engendrées dépendent notamment de la géométrie et de la nature des fibres introduites (polymères, métalliques, verres, carbone...), de leur fraction volumique et de leur vieillissement dans le béton. Le comportement fragile des bétons peut être évité par l'incorporation de fibres métalliques à la composition initiale du béton, ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité [1,2]. Par exemple, des fibres peuvent être utilisées dans des régions où les risques sismiques sont élevés, et dans des éléments où la résistance au cisaillement du béton doit être augmentée, et dans ce contexte, des chercheurs s'intéressent actuellement au remplacement des armatures transversales par les fibres métalliques [3], du fait que le coût de la mise en place d'un grand nombre de cadres peut devenir excessif et ou tout au moins plus coûteux que celui des fibres, l'ajout de fibres dans un béton peut ainsi modifier de manière importante son comportement mécanique.

### 1 Chapitre I : Présentation de l'entreprise :

La cimenterie de Sour-El-Ghozlane, (SCEG) est l'une des plus importantes unités de l'entreprise des ciments et dérivés centre (ERCC). Elle occupe une place importante compte tenu de sa production annuelle qui est de 1.000.000 de tonnes par an. Située à 130 km au sud-est d'Alger, et à 30 km de Bouira, chef-lieu de Wilaya, la société occupe une position géographique stratégique. En effet, implantée aux limites de Tell et des hauts plateaux, cette position lui permet de jouer un rôle économique important dans la région de centre de pays. Elle assure ainsi la satisfaction des besoins en ciments de plusieurs Wilayas Au **Nord** : Médéa, Tizi-Ouzou, Bejaia, Au **Centre** : Djelfa, Laghouat, Au **Sud** : Ghardaia, Tamanrasset, Illizi et Ouargla.

#### 1.1 Identification d'usine :

La société des ciments S.E.G est de type par action, elle est une filiale du groupe des ciments et dérivés de centre ERCC

- Constructeur : F.L Smidth du Danemark
- Qualité du ciment : CPJ a 42.5 MPa
- Production annuelle : 1 000 000 tonnes
- Superficie : 41 hectares
- Superficie occupée : 11 hectares
- L'investissement est de =1.354 milliards de Dinars

Pour ses besoins en matières premiers l'unité s'approvisionne en :

- Calcaire : quantité annuelle 1.200.000 tonnes
- Argile : quantité de 70.000 tonnes
- Sable : acheté de BOUSSAADA quantité de 50.000 tonnes
- Minerais de Fer : acheté auprès de quantité de 10.000 tonnes
- Tuf : acheté de ZEMOURI quantité de 150.000 tonnes
- Gypse : acheté de MEDEA quantité de 50.000 tonnes

1.2 Organigramme de SCEG :

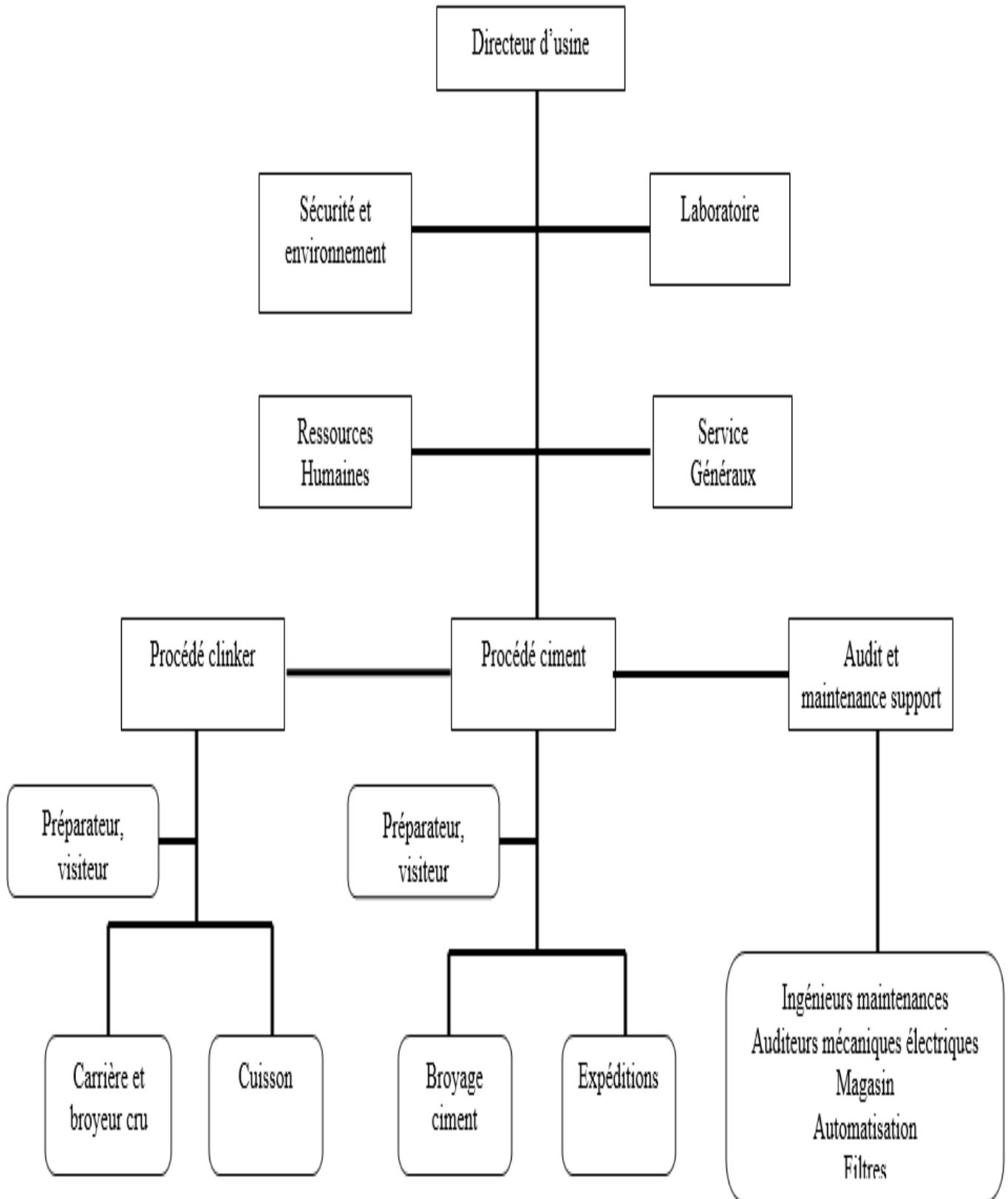


Figure 1 : Organigramme de SCEG

L'entreprise comporte 5 directions liées à la direction générale.

**La direction générale :** Elle est à la tête de la pyramide qui dirige et prend toutes la décision nécessaire au développement de la société. Elle est dirigée par un président directeur générale (PDG).

**La direction de finance** Elle est devisée en 3 département

Le département de finance de charge : financer des opérations d'achats de matière première.

Le département de budget

Le département de comptabilité

**La direction des ressources humaines (DRH) :** Elle a pour but le recrutement et le licenciement des travailleurs, le suivi de bon, déroulement et la formation du personnel.

**La direction d'exploitation :** Elle se décompose en 3 départements

- ❖ Département de production,
- ❖ Département de maintenance,
- ❖ Département d'approvisionnement.

**La direction commerciale :** elle a pour but la maitrise de la commercialisation des ciments et la réalisation des études techniques.



*Figure 1-1: la situation géométrique.*

## 2 CHAPITRE II: Généralités sur les ciments :

### 2.1 Introduction :

Le ciment est un matériau de base dans les secteurs du bâtiment et du génie civil. Il est utilisé dans la fabrication du béton, qui est le deuxième matériau le plus utilisé sur la planète. C'est un matériau de construction durable, versatile et totalement recyclable. Le ciment est fabriqué dans plus de 150 pays dans des centaines d'usines locales. Sa production progresse régulièrement depuis le début des années cinquante. Elle ne cesse d'augmenter dans les pays en voie de développement en particulier en Asie, qui s'est taillé la part du lion dans l'augmentation de la production mondiale de ciment pendant la dernière décennie. Cette augmentation de productivité est due à l'apparition d'unités de production de plus en plus grandes, à la mise en œuvre de la conduite automatique des procédés et à l'utilisation d'un personnel moins nombreux mais plus qualifié requis par cette automatisation.

### 2.2 Définition du ciment :

Le ciment est un liant hydraulique. C'est un matériau anhydre finement broyé qui, par simple mélange avec l'eau, développe des hydrates dont l'imbrication rigidifie le matériau granulaire non cohésif de départ en matériau cohésif présentant des propriétés mécaniques élevées. D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être définie comme un mélange d'oxyde basique, CaO noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO<sub>2</sub>, noté S, AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, noté A, ou Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, noté F, en notation cimentaire [4].

Il existe deux grandes familles de Ciments :

1. Les ciments Portland, constitués majoritairement de silice et de chaux et qui est utilisée principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.
2. Les ciments alumineux qui se composent essentiellement d'alumine et de chaux. Ils ont été développés au début du 20<sup>ème</sup> siècle par Bied. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux, ils sont utilisés en génie civil pour la confection de sols industriels, d'ouvrages d'assainissement ou des mises en service rapides, et dans la réalisation de réfractaires monolithiques utilisés dans l'industrie sidérurgique où verrière [5].



Figure 2-1: ciment produit par l'entreprise.

### 2.3 Procédés et techniques de fabrication du ciment :

La production du ciment dans l'Union européenne est environ 10,5 % de la production mondiale. En 2008, on dénombrait dans l'Union européenne 268 installations produisant du clinker et du ciment fini, regroupant 377 fours au total. On recensait également 90 usines de broyage (Broyeurs à ciment) et deux installations de production de clinker sans broyeur. En règle générale, Les fours ont une capacité d'environ 3 000 tonnes de clinker/jour. La production du ciment en Algérie est d'environ 18 millions de tonnes/an. Le ciment portland est constitué principalement de clinker. Ce dernier est obtenu par mélange de matières premières naturelles de composition chimique adéquate. La préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène du calcaire (80%) et des minéraux riches en silice et alumine (20%) : l'argile. Le cru et ensuite calciné à 1450 °C pour former le clinker [6].

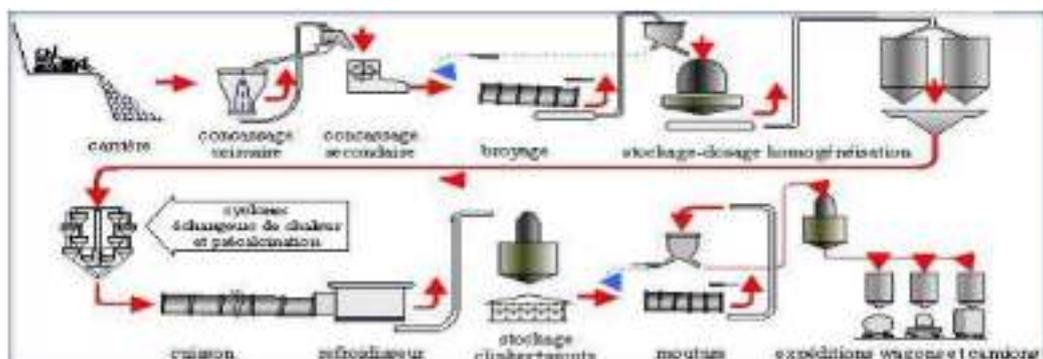


Figure 2-2: Procédés et techniques de fabrication du ciment.

### 2.4 Techniques de fabrication :

Les opérations suivantes sont communes à tous les procédés [7] :

- Extraction des matières premières.
- Stockage et broyage des matières premières.

- Cuisson pour obtention du clinker.
- Broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment.
- Conditionnement et expédition.

#### **2.4.1 Extraction des matières premières :**

Les gisements calcaires et argiles naturels (comme les roches calcaires, les marnes, la craie et l'argile) fournissent les matières premières. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine présents dans différents minerais et minéraux peuvent être ajoutés pour assurer une même qualité du mélange indépendamment de la qualité de la matière première. Les cendres de centrales thermiques, les laitiers de hauts fourneaux et autres résidus industriels peuvent également être utilisés comme substituts partiels des matières premières naturelles. Par abattage à l'explosif ou par ripage au bulldozer, les matières premières sont extraites des parois rocheuses de la carrière à ciel ouvert. Les blocs sont repris par dumpers ou bande transporteuse vers un atelier de concassage et réduits en éléments d'une dimension maximale de 50 mm.

#### **2.4.2 Stockage et broyage des matières premières :**

L'utilisation de halls de stockage dépend des conditions climatiques et de la quantité de Matière fine (farine ou cru) produite par l'installation de concassage. Le pesage et le dosage précis des matériaux introduits dans le broyeur sont importants car ils déterminent la constance de la composition chimique du cru, essentielle pour la stabilité de fonctionnement du four et pour l'obtention d'un ciment de qualité.

- Pour procédés en voie sèche et semi-sèche : Les matières premières, dans des proportions soigneusement contrôlées, sont broyées en poudre fine et séchées principalement à l'aide des gaz chauds du four et/ou de l'air d'exhaure du refroidisseur.
  - Pour procédés en voie humide ou semi-humide : Les matières premières contenant plus de 20% d'eau en masse peuvent être broyées avec de l'eau. Le mélange est envoyé dans un délayeur où il est déchiqueté et écrasé par des herses rotatives ce qui le transforme en une pâte. Quand celle-ci est suffisamment fine, elle passe dans des tamis montés dans la paroi du broyeur puis elle est pompée et stockée dans des cuves. Il faut souvent la broyer une nouvelle fois pour obtenir une Granulométrie satisfaisante, en particulier si on lui ajoute une autre matière première comme le sable.
- En sortant du broyeur, le cru ou la pâte doivent être malaxés et homogénéisés une nouvelle fois pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant introduction

dans les différents types de four. Le cru homogénéisé et stocké dans des silos, sa composition est dans des proportions bien définies :

- carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) : 77 à 83 %.
- silice totale ( $\text{SiO}_2$ ) : 13 à 14 %.
- alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) : 2 à 4 %.
- oxyde ferrique ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) : 1,5 à 3 %.

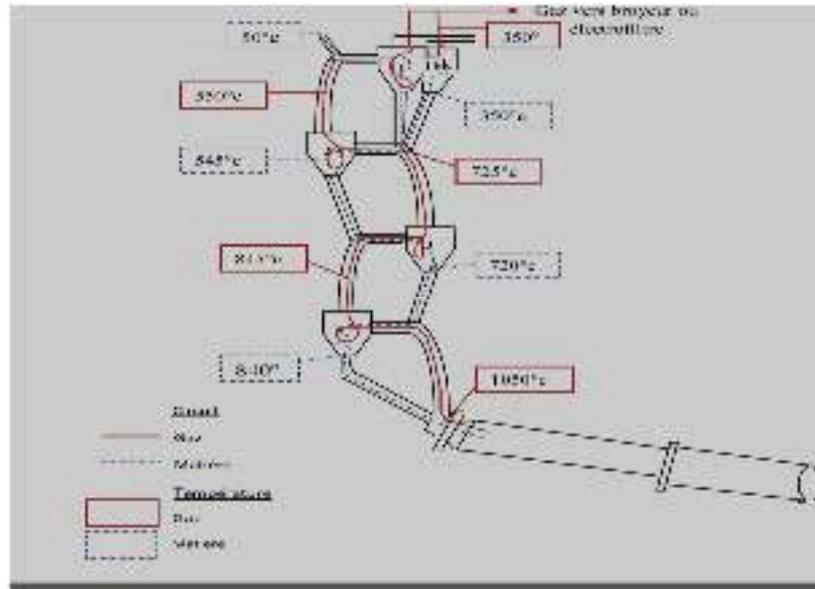


Figure 2-3: Schéma de la tour échangeuse.

### 2.4.3 Cuisson pour obtention du clinker :

Chacune des opérations impliquées dans le processus est importante et doit être correcte, faute de quoi le ciment risque de ne pas avoir la qualité exigée pour son emploi. Cependant la cuisson est sans doute l'opération la plus sensible et la plus importante en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût du produit. En effet, La farine crue (ou la pâte pour la voie humide) est introduite sous forme pulvérulente dans un préchauffeur à cyclone. Cet échangeur gaz/matière réalise la décarbonatation partielle de la farine crue (25% à 30%) qui doit être prête aux réactions du clinkérisation dans le four. Le four rotatif est constitué d'un cylindre en acier de chaudière, et présente une inclinaison de 3% dans le sens de l'écoulement de matière. Ce tube appelé aussi virole repose par l'intermédiaire de bandages, au nombre de trois, sur des galets, il est revêtu à l'intérieur de briques réfractaires qui protègent les tôles de température élevées (1850 °C pour les gaz et 1450 °C pour la matière). En amont, la matière pénètre à la température de 800 °C. En aval les gaz à 1850 °C sont injectés à l'aide de la tuyère. Il se produit

un échange à contre-courant entre les gaz et la matière. Au fur et à mesure que la matière avance, elle se chauffe et se transforme. Un groupe d'entraînement donne au four le mouvement de rotation nécessaire, à la fois au brassage de la matière et à la descente régulière de celle-ci de la zone amont (zone de décarbonatation) à la zone aval (zone de clinkérisation). A la sortie, les granules incandescents sont refroidis rapidement au contact de l'air injecté dans des tubes, ce qui permet de leur donner les structures cristallographiques optimales. Les réactions chimiques réagissant à la formation du clinker sont donc [10,11] :

**Zone de décarbonatation des calcaires et dolomies :**

**600 à 800 °c** : début de décarbonatation :

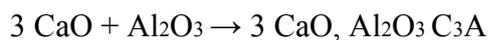
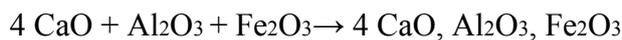


**800 à 850 °c** : formation de Bérite  $\text{C}_2\text{S}$  et de certaine combinaison intermédiaire des aluminates  $\text{C}_2\text{A} \cdot \text{C}_2\text{A}_7$  et ferrites.

**850 à 900 °c** : formation de  $\text{C}_3\text{A}$ .

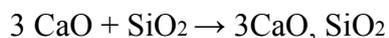
**Zone de transition : 900 à 1000 °c** :  $\text{CaO}$  libre devient excédentaire.

**1000 à 1250 °c** : formation de  $\text{C}_4\text{AF}$ .



**Zone de cuisson :**

**1250 à 1350 °c** : commencement de formation de l'Alite  $\text{C}_3\text{S}$  (début de clinkérisation)



**1350 à 1450 °C** : réaction de formation de l'Alite  $\text{C}_3\text{S}$  et cristallisation de l'Alite et la Bérite (Clinkérisation)

**Zone de refroidissement :**

**1450 à 1200 °c** : refroidissement.

**1200 à 80 °c** : refroidissement totale et stabilisation de  $\text{C}_3\text{S}$  « minéraux de bogue ».

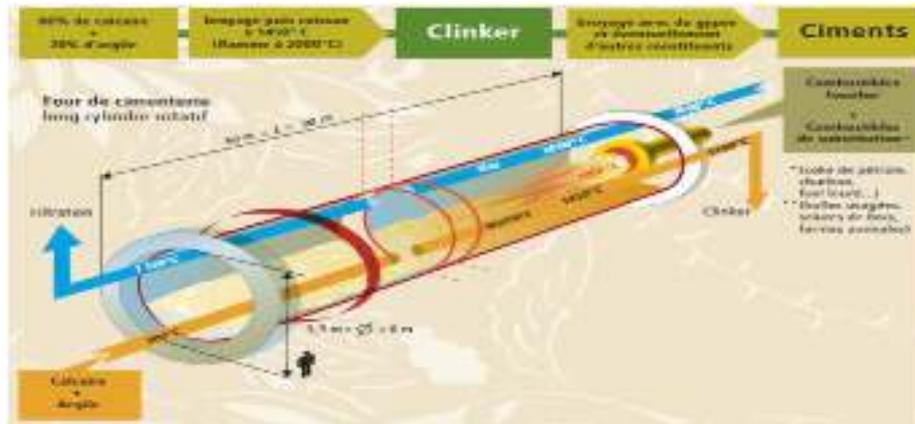


Figure 2-4: Four rotatif à ciment 'le coeur de la cimenterie' [9].

#### 2.4.4 Broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment :

Pour les ciments composés, du gypse et des constituants secondaires (pigments, résines, laitiers des hauts fourneaux, pouzzolanes) peuvent être ajouté pour donner au ciment des propriétés spécifiques. La matière est broyée très finement (grains inférieurs à 40 microns) à l'aide de l'un des Broyeurs :

- Broyeur en circuit fermé avec séparateur aéraulique ou séparateur à cyclones.
- Broyeur vertical à galets (bien adapté aux additions minérales importantes du fait de sa capacité de séchage ainsi qu'au broyage séparé des additions minérales).
- Broyeur à rouleaux (additions minérales relativement limitées, si non sèches où pré séchées).
- Le ciment sera acheminé ensuite vers des silos de stockage à compartiment unique ou à plusieurs compartiments.

#### 2.4.5 Stockage, ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié en vrac. L'ensachage, qui dans les pays industrialisés ne représente qu'environ 30 % de la production de ciment, s'effectue dans des sacs en papier kraft à l'aide de machines capables de remplir de 2000 à 4000 sacs par heure. La livraison en vrac est assurée par camions, wagons ou péniches [5].

### 2.5 Constituants principaux du ciment et les additions :

#### 2.5.1 Le clinker :

Produit obtenue par mélange de matières premières naturelles de composition chimique adéquate. La préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène du calcaire (80%)

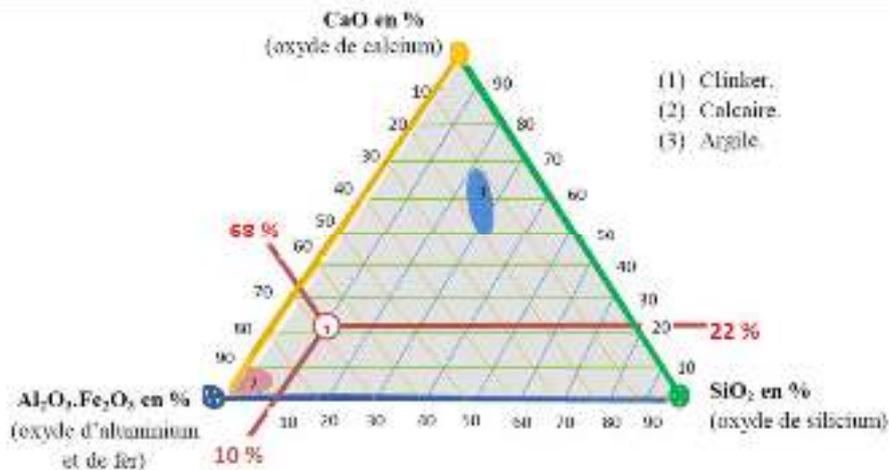
et des minéraux riches en silice et alumine (20%) : l'argile ou le kaolin. Le cru est ensuite calciné à 1450°C pour former le clinker. Les granules de clinker, d'un diamètre compris entre 5 et 40 mm, sont finement broyées avec Addition de gypse ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$  de 3 à 5 % en masse) dont le rôle est de réguler la prise [6].

### 2.5.2 Composition chimique :

Le clinker est principalement composé d'oxydes métalliques, les quatre principaux sont: L'oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ), de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), représentant environ 95% en masse. La composition chimique moyenne du clinker est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 2-1: Tableau 2 1- Composition chimique du clinker de ciment portland ordinaire. [12]**

Composant du clinker	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
Notation cimentière	S	A	F	C	M	S	K	N
% (en masse)	19-25	2-9	1-5	62-67	0-3	1-3	0.6	0.6



**Figure 2-5: Composition chimique du clinker.**

Le clinker Portland est un matériau hydraulique qui doit être constitué d'au moins deux tiers, en masse, de silicates de calcium [ $(\text{CaO})_3 \cdot \text{SiO}_2$ ] et [ $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$ ], la partie restante contenant de l'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), de l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et d'autres oxydes [12]. Parmi les quatre composant minéralogiques du clinker, ce sont surtout les silicates de calcium ( $\text{C}_3\text{S}$  et  $\text{C}_2\text{S}$ ) qui génèrent les performances mécaniques,  $\text{C}_3\text{A}$  et  $\text{C}_4\text{AF}$  permettent surtout la fabrication du clinker à une température industriellement réalisable ( $\pm 1450$  °C).

## 2.6 Catégories des ciments :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des Opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme. Le tableau suivant donne la liste des différents types de ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

*Tableau 2-2:Principales catégories de ciment.*

Désignations	Type de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % l'un des constituants suivants : laitier-pouzzolanes-cendre-calcaires-schistes- fumées de silice	Teneur en constituant secondaires
CPJ-CE% I	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5 %
CPJ-CEM II/A	Ciment portland composé	80 à 94 %	-De 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants et des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10.	0 à 5 %
CPJ-CEM II/B		65 à 79 %	-De 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus.	0 à 5 %
CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fouteau	35 à 64 %	-36 à 65 % de laitier de haut-fouteau	0 à 5 %
CHF-CEM III/B		20 à 34 %	-66 à 80 % de laitier de haut-fouteau	0 à 5 %
CHF-CEM III/C		5 à 19 %	-81 à 95 % de laitier de haut-fouteau	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolane, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10 %	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/B		45 à 64 %	35 à 55 % comme ci-dessus	0 à 5 %
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	18 à 30 % de laitier de haut-fouteau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes	0 à 5 %
CLC-CEM V/B		20 à 39 %	31 à 50 % de chacun des 2 constituant comme ci-dessus	0 à 5 %

### 3 Chapitre III : méthodes et matériels :

Le but de notre travail consiste à étudier les mortiers renforcés par des fibres métalliques. Pour cela, nous avons préparé des éprouvettes (4\*4\*16)  $cm^3$  à base d'un mortier normal sans fibres, comme témoins, et des éprouvettes avec renforts (fibres métalliques), en faisant varier les pourcentages des fibres : (0.5, 1, 1.5 %) l'incorporation des fibres s'effectue en fraction volumiques par rapport au mélange total. Les éprouvettes ont été confectionnées selon les modalités de la norme EN 196-1, qui explique le mode opératoire correspond à la préparation d'un mortier pour mesurer sa résistance mécanique à la flexion et à la compression. La masse des constituants nécessaires aux essais est déterminée en fonction des éprouvettes à préparer ; les pesées ont été réalisées avec une précision de 0.5%. Dans le cas de la préparation de 3 éprouvettes (4\*4\*16  $cm^3$ ), les quantités sont respectivement les suivantes :

Sable normalisé	Liant (ciment CPA)	Eau
1350g	450g	225g



Figure 3-1: Sable normalisé, pesée d'eau et de ciment (respectivement).

#### 3.1 Préparation des éprouvettes :

La préparation des éprouvettes s'est faite selon le mode opératoire suivant :

Le moule et sa hausse fermement fixés à la table de choc.

- ❖ Remplir avec précaution à l'aide d'une cuillère convenable, le moule à moitié et dans chaque compartiment de celui-ci.
- ❖ Démarrer ensuite l'appareil de choc pour 60 coups.
- ❖ Ajouter les fibres métalliques

Introduire la seconde couche, niveler avec la spatule et démarrer l'appareil pour 60 autres coups.

- ❖ Retirer avec précaution le moule de la table, puis enlever immédiatement l'excès de mortier avec une règle métallique plate.
- ❖ Lisser la surface des éprouvettes en tenant la règle presque à plat.
- ❖ Etiqueter les moules pour identification.
- ❖ Placer sans tarder, les moules dans une armoire humide, pendant 24 h.
- ❖ Après 24 heures de cure, faire sortir les moules et procéder au démoulage des éprouvettes.
- ❖ Immerger sans tarder, les éprouvettes dans un bain d'eau de température 20 °C

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression, définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 2 (ou 7 jours) et 28 jours. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment.

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion doivent être essayés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40 mm x 40 mm, Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s  $\pm$  10 N/s, jusqu'à rupture.



*Figure 3-2: Etapes de préparation des éprouvettes et matériel utilisé : malaxeur, ajout de fibres, Enlèvement de l'excès de mortier, armoire humide, démoulage des éprouvettes, Conservation des éprouvettes dans l'eau (respectivement).*



*Figure 3-3: Appareil de compression et de flexion.*



Figure 3-4: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiquée sur la Figure III.6.

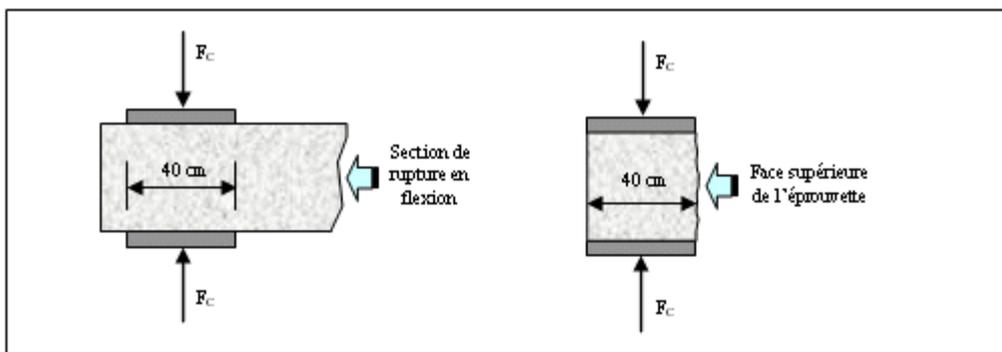


Figure 3-5: Dispositif de rupture en compression.

La quantité des fibres est **incorporées** par rapport au volume selon la méthode suivante (**Incorporation des fibres**).

L'**incorporation des fibres** en fraction volumique s'effectue selon le calcul suivant :

$$\rho(acier) = \frac{M_{acier}}{V_{acier}} \longrightarrow V(acier) = \frac{M_{acier}}{\rho_{acier}}$$

$$V(acier) = X * V(\text{mortier})$$

$$\frac{M_{acier}}{\rho_{acier}} = X * V(\text{mortier})$$

$$M_{\text{acier}} = \rho_{\text{acier}} * X * V_{\text{mortier}}$$

## 3.2 Analyses effectuées sur le ciment :

### 3.2.1 Détermination de l'anhydride sulfurique (SO<sub>3</sub>) :

#### 1. Principe :

Les ions sulfate, produits par la décomposition du ciment par l'acide chlorhydrique, sont précipités à un pH compris entre 1,0 et 1,5 par une solution de chlorure de baryum. La précipitation du sulfate de baryum est réalisée au point d'ébullition. Le dosage est effectué par la méthode gravimétrique et le sulfate est exprimé sous forme de SO<sub>3</sub>.

#### 2. Réactifs utilisés

- ❖ Acide chlorhydrique concentré.
- ❖ Chlorure de baryum (10%).
- ❖ Nitrate d'argent.

#### 3. Matériels utilisés :

- ❖ Bécher de 250ml.
- ❖ Papier-filtre moyen.
- ❖ Bécher de 400ml.
- ❖ Creuset en platine.
- ❖ Balance de précision.
- ❖ Four à moufle.

#### 4. Mode opératoire :

- ❖ Assurer que les conditions et les matériaux de travail sont adéquats.
- ❖ Sécher toutes les matières jusqu'à une masse constante.

Peser à  $\pm 0,0005$ g, (1,00 $\pm$ 0,05) g de ciment ( $m_1$ ), l'introduire dans un bécher de 250ml et ajouter 90ml d'eau. Tout en agitant vigoureusement le mélange, ajouter 10ml d'acide chlorhydrique concentré. Chauffer la solution doucement et écraser l'échantillon avec l'extrémité aplatie d'un agitateur en verre, jusqu'à la décomposition complète du ciment. Laisser digérer la solution pendant 15 min à une température juste au-dessous du point d'ébullition.

- ❖ Filtrer le résidu sur un papier-filtre moyen dans un bécher de 400ml
- ❖ Laver soigneusement à l'eau chaude jusqu'à la disparition totale
- ❖ Des ions chlorure, vérifiée par le test au nitrate d'argent.

- ❖ Porter le volume à 250ml environ. Si nécessaire, ajuster le pH de la solution à une valeur comprise entre 1,0 et 1,5 avec de l'acide chlorhydrique 1+11. Porter à ébullition et laisser bouillir pendant 5min. Vérifier que la solution est limpide. Sinon, recommencer le dosage avec une nouvelle prise d'essai. Tout en agitant vigoureusement,
- ❖ Maintenir la solution au point d'ébullition et ajouter, goutte à goutte, 10ml de la solution de chlorure de baryum chauffée juste au-dessous du point d'ébullition. Maintenir la solution juste au-dessous du point d'ébullition pendant au moins 30min, en surveillant le volume qui doit être maintenu entre 225ml et 250ml. Laisser ensuite reposer le bécher couvert à température ambiante pendant 12h à 24h, avant le filtrage. Filtrer le précipité sur un papier-filtre fin (moyen), et laver à l'eau bouillante jusqu'à la disparition complète des ions chlorure, vérifiée par le test au nitrate d'argent.
- ❖ Calciner à  $(950 \pm 25)$  °C pendant 15 min, jusqu'à une masse constante ( $m_2$ ).

**5. Calcul et expression des résultats :**

Calculer la teneur en sulfate, exprimée sous forme de  $\text{SO}_3$ , en pourcentage, par la formule:

$$\% \text{SO}_3 = \frac{m_2 * 0,343 * 100}{m_1} = 34,3 * \frac{m_2}{m_1}$$

Où:

$m_1$  : est la masse de la prise d'essai, en grammes.

$m_2$  : est la masse de sulfate de baryum, en grammes.

### 3.2.2 Dosage de l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) :

#### 1 Principe :

Le dosage de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  est effectué par complexométrie au moyen de l'E.D.T. A à pH=1.5 en présence de l'acide salicylique comme indicateur à 50°C.

#### 2 Matériels utilisés :

- ❖ Fiole 100ml.
- ❖ Bécher de 600ml.
- ❖ Agitateur électrique.
- ❖ Plaque chauffante.
- ❖ Thermomètre.

#### 3 Réactifs utilisés :

- ❖ Bleu de bromophénol.
- ❖  $\text{NH}_4\text{OH}$ .
- ❖ Acide chlorhydrique (0,1 N).
- ❖ Solution E.D.T.A.
- ❖ Acide salicylique (indicateur de fer)
- ❖ Solution tampon.

#### 4 Mode opératoire :

- ❖ Prélever 100ml du filtrat, le mettre dans un bécher de 600ml. Mettre le bécher et son contenu sur un agitateur. Ajuster le pH à 3.6 en ajoutant 3 à 4 gouttes de bleu de bromophénol et  $\text{NH}_4\text{OH}$  jusqu'à apparition d'une teinte bleue fugitive. Ajouter 20ml d'acide chlorhydrique à 0,1 N, 15ml de solution tampon à pH 1.5, on obtient une coloration jaune pale. Additionner 15 à 20 gouttes d'acide salicylique, on obtient une coloration violette plus ou moins intense. Chauffer jusqu'à 40-50°C (ne jamais dépasser 50°).
  - ❖ Titrer rapidement avec la solution E.D.T.A.
  - ❖ Noter le volume V (ml) de la solution E.D.T.A utilisé pour le titrage.

#### 5 Calcul et expression des résultats :

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{VE.D.T. A (écoulé)} * \text{TE.D.T.A} * 1.4286$$

### 3.2.3 Détermination de la CAO :

#### 1. Principe

Le dosage de la chaux est effectué par complexometrie au moyen de l'E.D.T.A, après un masquage des ions gênants, en présence du noir bleu au chrome comme indicateur à pH=12,5.

#### 2. Matériels utilisés :

- ❖ Fiole de 100ml.
- ❖ Bécher de 600ml.
- ❖ Agitateur électrique.

#### 3. Réactifs utilisés :

- ❖ Hélianthine.
- ❖ Triéthanolamine T.E.A.
- ❖ Calcon carboxylique.
- ❖ Solution NH<sub>4</sub>OH.
- ❖ Solution NaOH.

#### 4. Mode opératoire :

Prélever 100ml du filtrat, l'introduire dans un bécher de 600ml. Mettre le bécher et son contenu sur un agitateur. Ajouter quelques gouttes d'hélianthine, additionner goutte à goutte le NH<sub>4</sub>OH jusqu'à apparition d'une coloration jaune. Ajouter 15ml de Triéthanolamine (T.E.A) « masquage de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ». Réajuster le PH avec 40ml de NaOH (2N) à PH=12.5. Ajouter une pincée de Calcon carboxylique.

Titrer avec la solution E.D.T.A jusqu'à virage du violet au bleu clair persistant.

#### 5. Calcul et expression des résultats :

$$\% \text{CaO} = V_{\text{E.D.T.A}} (\text{écoulé}) * T_{\text{E.D.T.A}}$$

### 3.2.4 Détermination de la silice (SiO<sub>2</sub>) :

#### 1. Matériels utilisés :

- ❖ Creuset en platine.
- ❖ Bec maker.
- ❖ Four à moufle.

#### 2. Mode opératoire :

Placer le filtre et son contenu dans un creuset en platine préalablement séché, calciné et taré soit P<sub>1</sub>. Faire bouillir le papier filtre sur le bec maker, Introduire le creuset dans le four à 1000°C pendant 30min jusqu'à une masse constante P<sub>2</sub>.

Refroidir et peser P<sub>2</sub>.

#### 3. Calcul et expression des résultats :

$$\% \text{ Silice} = \frac{P_2 - P_1}{P} * 100$$

P<sub>2</sub> : Poids du creuset.

P<sub>1</sub> : Poids total du creuset après calcination.

P : Prise d'essai.

### 3.2.5 Dosage de l'oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) :

#### Principe

Le dosage de l'alumine est effectué par complexometrie au moyen de l'E.D.T.A à pH=3.2, l'indicateur étant composé de complexonate de cuivre et de pyridil-azo-naphtol «PAN».

#### 2. Matériels utilisés :

- ❖ Bécher de 600ml.
- ❖ Agitateur électrique.
- ❖ Bec maker.

#### 3 Réactifs utilisés :

- ❖ Acide acétique.
- ❖ Indicateur PAN.

- ❖ Solution E.D.T.A.
- ❖ complexonate de cuivre
- ❖ Acétate d'ammonium.

#### 4. Mode opératoire :

Porter à ébullition la solution ayant servi à doser le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ajouter de l'acétate d'ammonium jusqu'à virage bleu de bromophénol. Ajouter 5ml d'acide acétique, trois (03) gouttes de complexonate de cuivre, on obtient une coloration rose violette. Attendre une ébullition et titrer à l'E.D.T.A jusqu'à virage jaune pâle persistant après une Minute d'ébullition.

#### 5. Calcul et expression des résultats :

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = V \text{ E.D.T.A (écoulé)} * T \text{ E.D.T.A} * 0.9107$$

### 3.2.6 Dosage de la MgO :

#### 1. Principe :

Le dosage de l'MgO est effectué par complexometrie au moyen de l'E.D.T.A, après un masquage des ions gênants, en présence de l'indicateur de l'MgO à pH=10.5

#### 2. Matériels utilisés :

- ❖ Bécher de 600ml.
- ❖ Agitateur électrique.
- ❖ Bec maker .
- ❖ Fiole 100ml.

#### 3. Réactifs utilisés :

- ❖ Héliantine.
- ❖ Triéthanolamine (T.E.A).
- ❖ Indicateur de l'MgO.
- ❖ Ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ).
- ❖ Solution  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

#### 4. Mode opératoire :

Prélever 100ml du filtrat, l'introduire dans un bécher de 600ml. Mettre le bécher et son

contenu sur un agitateur. Mettre quelque goutte de l'héliantine, additionner goutte à goutte le  $\text{NH}_4\text{OH}$  jusqu'à apparition d'une coloration jaune. Ajouter 30ml de Triéthanolamine (T.E.A) « masquage de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ». Réajuster le pH avec 10ml Ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) à pH=10,5. Ajouter 15 à 20 gouttes de l'indicateur de l'MgO. Titrer avec la solution E.D.T.A jusqu' a disparition du violet

**5. Calcul et expression des résultats :**

$$\% \text{MgO} = (V_2 - V_1) * T_{\text{E.D.T.A}} * 0.7143$$

Sachant que :

$V_1$  : Volume de l'E.D.T.A écoulé pour le titrage du CaO.

$V_2$  : Volume de l'E.D.T.A écoulé pour le titrage de MgO.

## 4 CHAPITRE IV: Résultats et interprétations :

### 4.1 Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les ciments confectionnés de témoin et les différentes proportions des fibres métalliques et les compositions chimiques.

### 4.2 Propriétés du ciment utilisé :

Les propriétés physiques, chimiques, et mécaniques du ciment utilisé sont présentées dans les tableaux 1, 2 et 3 :

*Tableau 4-1:propriétés chimiques du ciment utilisé.*

Idf - Ech	% Des fibres métalliques	Propriétés Chimiques							
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	P.A.F	CaOlibre
BO	0	20.97	5.12	3.58	63.91	2.36	1.55	1.71	0.93

*Tableau 4-2:propriétés physiques de ciment utilisé.*

Idf - Ech	% Des fibres métalliques	Propriétés Physiques				
		SSB	Refus (µm)	Temps de prise		% Eau
BO	0	3466	18.80	Début	Fin	26.2
				115	315.00	

*Tableau 4-3:propriétés mécaniques de l'éprouvette sans fibres métalliques.*

Idf - Ech	% Des fibres métalliques	Propriétés mécaniques					
		R. Flexion			R .Compression		
BO	0	RF 2j	RF 7j	RF 28j	RC 2j	RC 7j	RC 28j
		3.42	5.66	5.08	18.09	41.95	56.75

Ces propriétés mécaniques sont prises comme témoin pour comparer avec le ciment renforcé avec les différentes fractions de fibres métalliques.

### 4.3 Propriétés mécaniques des éprouvettes renforcées avec les fibres métalliques :

Les résultats concernant les résistances à la traction et à la compression des bitons renforcés avec les différents pourcentages en fibres métalliques sont donnés dans les tableaux 4, 5 et 6 :

**Tableau 4-4:propriétés mécaniques de l'éprouvette avec 0.5% de fibres métalliques.**

Idf - Ech	% Des fibres métalliques	Propriétés mécaniques					
		R. Flexion			R .Compression		
BFM 1	0.5	RF 2j	RF 7j	RF 28j	RC 2j	RC 7j	RC 28j
		5.65	6.54	6.84	22.40	43.10	52.13

**Tableau 4-5:propriétés mécaniques de l'éprouvette avec 1% de fibres métalliques.**

Idf - Ech	% Des fibres métalliques	Propriétés mécaniques					
		R. Flexion			R .Compression		
BFM 2	1	RF 2j	RF 7j	RF 28j	RC 2j	RC 7j	RC 28j
		5.40	6.06	6.38	21.65	38.70	48.90

**Tableau 4-6:propriétés mécaniques de l'éprouvette à 1.5% de fibres métalliques.**

Idf - Ech	% Des fibres métalliques	Propriétés mécaniques					
		R. Flexion			R .Compression		
BFM 3	1.5	RF 2j	RF 7j	RF 28j	RC 2j	RC 7j	RC 28j
		4.5	6.12	6.59	20.4	35.1	48.20

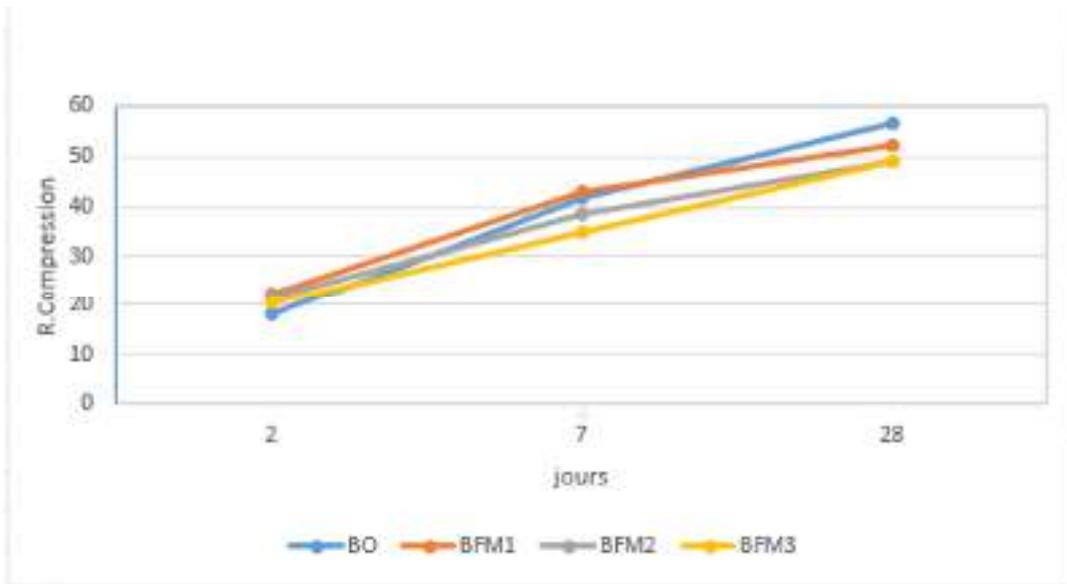


Figure 4-1: variation de la résistance à la compression en fonction du temps.

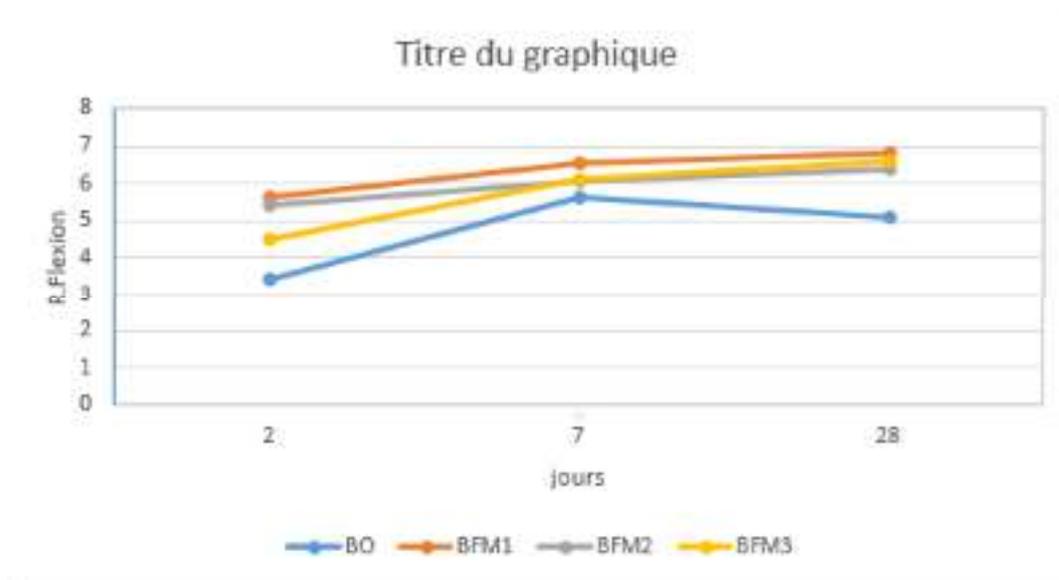


Figure 4-2: variation de la résistance à la flexion en fonction du temps.

- Pour le pourcentage 0.5%(BFM1) ce qui représente  $10\text{g}/\text{cm}^3$  de fibres dans le mortier, on remarque qu'il y'a une augmentation de la résistance en flexion par rapport au témoins. Le gain maximal est 65.20% dans 2 jours. Les valeurs trouvées pour 7 jours et 28 jours sont 15.54% et 34.64% respectivement. Concernant la compression, on remarque une augmentation de 23.82% pour 2 jours, et 2.74% pour 7 jours mais une diminution de la résistance en compression de 8.14% est enregistrée pour 28 jours.

- Pour le pourcentage 1% (BFM2) ce qui représente  $20\text{g/cm}^3$  de fibres dans le mortier il ya toujours un redressement a la flexion pour le 2 ,7 et 28 jours par rapport au témoins d'où les résultats ont été respectivement 57.89%, 15.54% et 34.64%.  
Mais pour la résistance en compression il ya une diminution de manière significative où nous avons enregistré une diminution de 3.34% pour 2 jours, 10.67% pour 7 jour et 6.19% pour 28 jours.
- Pour le pourcentage 1.5% (BFM3) ce qui représente  $30\text{g/cm}^3$  de fibres dans le mortier les résultats de la résistance à la flexion sont montré une augmentation de 31.57% et 29.72% pour 2 et 28jours, et une diminution de 8.12% pour 7 jours  
Maintenant on va passer à la résistance en compression qui a marqué une augmentation juste dans les 2 jours de 12.76% par rapport au témoin et une diminution de 16.47% et 15.06 pour le 7 et 28 jours respectivement.

A partir du résultat précédent nous pouvons conclure que pour les deux mortiers (BFM1) et (BFM2) il ya une augmentation de la résistance à la flexion dans les 2, 7 et 28 jours mais pour le (BFM3) une diminution seulement après 7 jours. Cette augmentation retour à la l'efficacité des fibres dans les mortiers qui crée une surface cohérente entre les deux menant à augmenter la dureté et réduire les fissures dans le milieu. Et pour la résistance à la compression on a noté une amélioration de la résistance pour les trois mortiers (BFM1), (BFM2), (BFM3) dans les 2 premiers jours et une dégradation dans le 7<sup>ème</sup> et 28<sup>ème</sup> jours et ça retour à la différence de la force appliquée sur les mortiers et l'emplacement des fibres. La force de compression est appliquée verticalement sur les mortiers tandis que la distribution des fibres est horizontale par rapport à la surface d'application de la force. Il faut noter également que les fissures et les pores dans les mortiers agissent négativement sur la résistance à la compression.

## Conclusion :

Aussi bien en termes de volume qu'en termes de finances, les bétons constituent les matériaux les plus utilisés dans le bâtiment. Essentiellement, les bétons sont confectionnés au départ de gravier, de sable, de ciment et d'eau, mais à part ces quatre composants fondamentaux, les bétons actuels contiennent de plus en plus d'additifs. Ces derniers permettent de modifier les caractéristiques des bétons et le rendre plus résistant.

Dans notre étude, nous avons utilisé les fibres métalliques comme ajout pour essayer de renforcer le béton. Cette étude a fourni deux conclusions importantes :

- La résistance à la flexion du béton augmente en fonction du temps, et l'ajout de fibres métalliques engendre une amélioration de cette résistance.
- La résistance à la compression est diminuée en fonction du temps et en fonction du pourcentage des fibres métalliques ajoutés au mortier.

L'amélioration de la résistance à la flexion ne nous permet pas de conclure que le béton à base d'ajout de fibres métalliques est devenu plus résistant, car il faut prendre en considération la caractéristique la plus importante qui est la résistance à la compression au bout de 28 jours.

Dans notre cas cette résistance diminue en fonction du temps et en fonction de la dose des fibres métalliques, ce qui nous mène à conclure que l'ajout de fibres métalliques de caractéristiques données en annexe n'est pas bénéfique au béton en terme de résistance, mais il contribue à la diminution de cette dernière qui ne doit pas être inférieure à 42.5 MPa après 28 jours.

L'utilisation d'autres types de fibres métalliques peut par contre donner de meilleurs résultats.

### Références bibliographiques :

- [1] R. Nilica, H. Harmuth, Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external insulation composite systems, *Cement and Concrete Research*. 35(2007) 1641–1645.
- [2] R. Roziere, S. Granger, PH. Turcry, A. Loukili, Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture, *Cement and concrete composite*, 29(2007) 626–636.
- [3] C. Cucchiara, L. Mendola, M. Papia, Effectiveness of stirrups and steel fibers as shear reinforcement, *Cement and concrete composites*, 26(2004) 777–786.
- [4] H.F.W. Taylor, ‘‘Cement chemistry’’, 2nd edition, University of Aberdeen, 2007.
- [5] J.M. Auvray, ‘‘Elaboration et caractérisation à haute température de bétons réfractaire à base D’alumine Spinelle’’ thèse de doctorat, université de Limoges Science et technologie de santé 2003.
- [6] A, Govin, ‘‘Aspects Physico -Chimique de l’interaction bois-ciment modification de L’hydratation du ciment par le bois’’ thèse de Doctorat de l’université de Limoges ,2004.
- [7] Cembureau, 1997. Procédés et techniques de fabrication du ciment. Bruxelles, Belgique, Available from: URL: [www.ciments-calcia.fr](http://www.ciments-calcia.fr)
- [8] Mouss, Dj, 2005. Modélisation et simulation d’un procédé industriel par approche à base de Connaissance - cas de SCIMAT, Ain Touta. Département de génie industriel, Batna.
- [9] Bogue, R.-H, 1952. La chimie du ciment portland. 3<sup>eme</sup> édition université de Lille.
- [10] Jean FESTA, Georges DREUX, nouveau guide du béton et ses constituants, 8<sup>ème</sup> édition, EYROLLES, 2007.
- [11] A, Govin, ‘‘Aspects Physico -Chimique de l’interaction bois-ciment modification de L’hydratation du ciment par le bois’’ thèse de Doctorat de l’université de Limoges ,2004.
- [12] H.F.W. Taylor, ‘‘Cement chemistry’’, 2nd edition, University of Aberdeen, 2007.
- [13] DE LARRARD F. □ Construire en béton □.Collection du LCPC. L’essentiel sur les matériaux. Presses de l’école nationale des Ponts et Chaussées. 2002.

## Annexe :

La fiche technique des fibres :

Construction

Notion technique  
Edition 02/2010  
Numéro 2-46  
Version n°2010.049  
SIKA® METAL FIBRES RL-45/50-BN

## SIKA® METAL FIBRES RL-45/50-BN

Fibres métalliques pour le renforcement des bétons.

CE

---

**Présentation** Les fibres SIKA® METAL FIBRES RL-45/50-BN sont fabriquées à partir de fil d'acier treillé. Elles comportent un ancrage mécanique constitué de crochets aux extrémités. Elles sont libres non encolées. Elles sont présentées en sac papier de 20 kg.

---

**Domaines d'application**

- Sols industriels.
- Dalles sur colonnes ballastées

---

**Caractères généraux** Grâce à la nature de l'acier qui les constitue et au système d'ancrage mécanique dont elles sont dotées aux extrémités, les SIKA® METAL FIBRES RL-45/50-BN présentent des caractéristiques de grande résistance à l'arrachement et à la traction. Incorporées dans les bétons, les SIKA® METAL FIBRES RL-45/50-BN leur confèrent les propriétés suivantes :

- ductilité grâce à la capacité des matériaux à se déformer pour des efforts élevés sans diminution significative de la résistance,
- ténacité liée à la redistribution des contraintes et l'amélioration de l'absorption d'énergie nécessaire à la rupture,
- accroissement de la résistance à la fatigue et aux chocs,
- contrôle de la fissuration grâce à la reprise des contraintes qui permet de maîtriser l'ouverture des fissures en s'opposant à leur propagation.

Les SIKA® METAL FIBRES RL-45/50-BN, utilisées dans les bétons pour dallages industriels via une note de calcul renseignée par le demandeur.

---

**Caractéristiques**

Nature	Fil d'acier treillé sans revêtement
Longueur	50 mm
Diamètre	1,05 mm
Etalement	48
Nombre de fibres	2800 fibres/kg
Résistance en traction	1000 MPa (sur fil)



1
SIKAB METAL FIBRES RL-45/50-BN 1/3

**Résistance** Les caractéristiques de résistance équivalente en flexion, au cisaillement et en traction axiale du béton dépendent du dosage de fibres et de la classe de résistance du béton.

Les valeurs de ductilité sont données dans le tableau ci-dessous :

Dosage en kg/m <sup>3</sup>	Re1,5 (%)	Re3 (%)
20	38	33
25	43	38
30	48	40
35	52	45
40	57	50
45	62	53
50	67	57

Valeurs basées sur une résistance moyenne en flexion de la matrice de 4,8 N/mm<sup>2</sup> à utiliser jusqu'à C40/50

**Conditionnement** ■ Sacs papier de 20 kg

**Stockage** Ne pas gerber les palettes.

**Conservation** Protéger les palettes de la pluie.

### Conditions d'application

**Consommation / Dosage**

■ Pour les calculs de dimensionnement le tableau suivant donne la résistance équivalente en flexion pour des déflexions de 1,5 mm ou 3 mm suivant la norme NBN B 15-238, 239, JSCE-SF4 et CUR35.

Dosage en kg/m <sup>3</sup>	C17		C20		C25		C30		C35	
	Déflexion		Déflexion		Déflexion		Déflexion		Déflexion	
	3 mm	1,5 mm								
20	1,6	1,2	1,7	1,5	1,8	1,6	1,9	1,7	2,0	1,8
25	1,8	1,4	1,9	1,6	2,0	1,7	2,1	1,8	2,2	2,0
30	2,0	1,6	2,1	1,8	2,2	1,9	2,4	2,1	2,5	2,2
35	2,2	1,8	2,3	2,0	2,4	2,1	2,6	2,3	2,7	2,4
40	2,4	2,0	2,5	2,2	2,7	2,3	2,8	2,5	3,0	2,6
45	2,6	2,2	2,8	2,4	2,9	2,5	3,1	2,8	3,2	2,9
50	2,8	2,4	3,0	2,6	3,2	2,7	3,3	3,0	3,4	3,1

■ Pour les applications de renforcement du béton dans les ouvrages en béton autoplaçant, les SIKAB® METAL FIBRES RL-45/50-BN sont employées au dosage minimum de 20 kg/m<sup>3</sup>.

**Mise en oeuvre**

Il est recommandé d'ajouter les SIKAB® METAL FIBRES RL-45/50-BN directement dans le malaxeur de la centrale à béton, simultanément au sable et au gravillon dans la bascule à granulats.

Ne pas introduire les fibres en premier et ne pas jeter les sacs en papier dans le malaxeur.

Malaxer le mélange (béton + fibres) pendant 20 secondes avant l'introduction de l'eau de gâchage. Le temps de malaxage total est de 75 secondes.

## Construction

**Précautions d'emploi**

Lors de l'ouverture des sacs ou la manipulation des sacs ouverts, il est conseillé de porter des gants.  
Consulter la fiche de données de sécurité.

**Mentions légales**

Produit réservé à un usage strictement professionnel.  
Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.  
«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Dzanir  
05 route de l'Arbaa, 16111 Euzalyria  
Alger/ALGERIE  
Web : dza.sika.com

Tel : 213 (0) 21 50 21 54  
213 (0) 21 50 15 92 & 95  
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

