



الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية
الشعبية



Republique Algérienne Democratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث
العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تيبسة
التبسة - تيبسة

Université Larbi tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de Master Académique**

En : Génie Civil

Spécialité : Structures

Par : -BOUTOUATA Sabrina.

-HAOUAM Chaima.

Sujet

**Etude de l'influence des ajouts des adjuvants et le
mode de séchage sur la résistance du béton.**

Présenté et soutenu publiquement, le 23 /09/ 2020 , devant le jury composé de :

Mr : BOUTAGOUGA Djamel.

Docteur

Président

Mr : MESSABHIA Ali.

Professeur

Rapporteur

Mr : AYEYB Blkhir.

Docteur

Examineur 1

Promotion : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu, le tout puissant pour nous avoir donné le courage et la patience pour la réalisation de ce modeste travail.

A travers ce travail, nous tenons à remercier vivement notre encadreur «Dr. MESABHIA Ali » Pour L'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, pour sa disponibilité et ses nombreux encouragements. Son regard de formatrice et ses connaissances furent très précieux, ainsi que Les conseils qu'il nous a prodigué, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous ne pouvons pas terminer sans remercier tous les enseignants, tous les collègues qui nous ont aidés et qui nous ont entièrement soutenus au cours des dernières années.

Merci

Dédicaces

*Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir,
La force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et de
bonheur.*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de
tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma
mère.*

À l'âme pur de mon cher père....paix à son âme

*À mes chères sœurs Meriem, Amel, Hanane et Asma mes deux chers
frères Yassine et Missou,*

*A Nos petits-enfants Amdjed, Asser, Sidra, Djana, Mounir, Issra et
Alaa que Dieu les garde*

A ma chère binôme Sabrina Bouatouata

Mes copines chéris Chayma, Nssira , Mofida

À toute ma famille paternelle « HAOUAM ».

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.

Phaïma

Dédicaces

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donnée la santé et le courage pour terminer ce modeste travail.

Je dédie ce travail à mon cher père et ma chère mère qui m'ont encouragé et qui m'ont donnée tous les moyens disponibles. Pour que je puisse arriver à ce niveau. Que dieu leurs procure bonne santé et longue vie.

*A mes chères frères houari et ayoub et m'adorable sœur salima,
Je leur souhaite une vie pleine de bonheur et de succès, que Dieu les protège.*

A Nos petits-enfants gâtés Dhia addin et Amir.

A ma chère binôme chaima et sa famille haouam.

A mes charmantes amies Maroua et Oumaima et ses familles.

A toutes mes tantes et tous mes oncles et toute ma famille

« BOUATOUATA ».

A tous ceux que j'aime, tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce travail.

Sabrina

Table de matière

Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Liste des symboles.....	x
Introduction Générale.....	A
<u>Chapitre 1 Généralité sur le béton</u>	1
1.1. Introduction.....	2
1.2. Historique du béton.....	2
1.3. Définition.....	3
1.4. Les Composants d'un béton.....	3
1.4.1. Le ciment.....	3
1.4.2. Les granulats.....	4
1.4.2.1. Le gravier.....	6
1.4.3 L'eau de gâchage.....	6
1.4.4 Les adjuvants.....	6
1.5. Les différents types du béton.....	6
1.5.1. Béton ordinaire.....	6
1.5.1.1 définition.....	6
1.5.1.2. Modes de formulation BO.....	7
1.5.1.3. Caractéristique du BO.....	7
1.5.1.4. Utilisations du BO.....	9
1.5.1.5. Avantages et inconvénients.....	9
1.5.2. Béton auto-plaçant (BAP).....	9
1.5.2.1.Définition.....	9
1.5.2.2. Modes de formulation BAP.....	9
1.5.2.3. Caractéristique du BAP.....	10
1.5.2.4. Avantages et inconvénients.....	10
1.5.2.5. Utilisations du BAP.....	11

1.5.3. Béton de hautes performances (BHP).....	11
1.5.3.1 Définition.....	11
1.5.3.2. Formulation du béton à haute performance.....	11
1.5.3.3. Caractéristiques du BHP.....	11
1.5.3.4Utilisations des Bétons à Hautes Performances.....	12
1.5.3.5. Avantages et inconvénients.....	12
1.5.4. Béton de fibres.....	12
1.5.4.1. Définition.....	12
1.5.4.2. Caractéristiques du béton fibré.....	12
1.5.4.3. Formulation du béton fibré.....	13
1.5.4.4. Les familles de fibres.....	13
1.5.4.5. Avantages et inconvénients du béton fibré.....	14
1.5.4.6. Utilisations des bétons fibré.....	14
1.5.5. Béton léger.....	14
1.5.5.1. Définition.....	14
1.5.5.2Caractéristiques du béton léger.....	14
1.5.5.3 Formulation du béton léger.....	14
1.5.5.4. Avantages et inconvénients.....	15
1.5.5.5. Utilisations du Béton Léger.....	15
1.5.6. Béton lourd.....	15
1.5.6.1. Définition.....	15
1.5.6.2. Formulation du béton lourd.....	15
1.5.6.3. Caractéristiques du béton lourd.....	16
1.5.6.4. Utilisations du Béton lourd.....	16
1.5.7.5. Avantages et inconvénients.....	16
1.5.7. Béton armé.....	16
1.5.7.1. Définition.....	16
1.5.7.2. Dosage pour 1 m ³ de béton.....	17
1.5.7.3. Caractéristiques mécaniques.....	17
1.5.7.4. Essais de laboratoire.....	17
1.5.7.5. Les Avantages du béton armé.....	22

1.5.7.6. L'utilisation de béton armé.....	23
1.5.8. Béton préfabriqué.....	23
1.5.8.1. Définition.....	23
1.5.8.2. Utilisation du béton préfabriqué.....	23
1.6. Conclusion.....	23
<u>Chapitre2 Les adjuvants</u>	24
2.1. Introduction.....	25
2.2. Un peu d'histoire.....	25
2.3. Définition.....	25
2.4. Fonctions.....	26
2.4.1. Fonction Principale.....	26
2.4.2. Fonctions Secondaires.....	26
2.5. Compatibilité ciment-adjuvant.....	26
2.6. Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment.....	26
2.7. Classification Selon la Norme NF EN 934 – 2.....	27
2.7.1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité et la rhéologie du béton.....	27
2.7.2. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement.....	31
2.7.3. Adjuvants modifiant des propriétés particuliers.....	34
2.8. Caractéristiques.....	37
2.8.1. Pour la formulation des bétons.....	37
2.8.2. Pour la mise en œuvre des bétons.....	37
2.8.3. Pour la durabilité des ouvrages.....	38
2.9. Conclusion	38
<u>Chapitre 3 Les différentes méthodes de formulation</u>	39
3.1. Introduction.....	40
3.2. Les méthodes de formulation du béton.....	40
3.2.1. Méthode de Dreux-Gorisse.....	40
3.2.2. Méthodes de Bolomey.....	44
3.2.3. Méthode de faury.....	46
3.2.4. Méthode de Vallette.....	50
3.2.5. Méthode Joisel.....	50

3.2.6. Méthode d'abrams.....	51
3.3. conclusion.....	51
<i>Chapitre 4 L'effet des méthodes de la formulation et des adjuvants sur la résistance du béton.....</i>	52
4.1. Introduction.....	53
4.2. Plan de travail.....	53
4.2.1. Adjuvant (Hydrofuges de masse).....	53
4.2.2. Adjuvant (Super plastifiant).....	53
4.3. L'effet des méthodes de la formulation sur la résistance du béton.....	54
4.4. L'effet des adjuvants sur la résistance du béton.....	54
4.4.1. Les entraîneurs d'air.....	54
4.4.2. Les Super plastifiants.....	55
4.4.3. Les retardateurs de prise.....	55
4.4.4. Les accélérateurs de durcissement.....	55
4.4.5. Plastifiants-réducteurs d'eau.....	55
4.4.6. Hydrofuge de masse.....	55
4.4.7. Accélérateurs de prise.....	55
4.4.8. Rétenteurs d'eau.....	55
4.5. Conclusion.....	55
Conclusion Générale.....	56
Références bibliographiques.....	58

Liste des tableaux

Chapitre 1: Généralité sur le béton

Tableau 1.1 Types de ciment	4
Tableau 1.2 Les familles de fibres [25]	13
Tableau 1.3 dosage pour 1 m ³ de béton [33].....	17
Tableau 1.4 quelque valeur de la résistance à la traction du béton	18
Tableau 1.5 Déformations instantanée et différée (due au fluage) [34]	20
Tableau 1.6 quelque valeur de f_{c28} , E_{ij} et E_{ij} [43].....	20
Tableau 1.7 valeurs tiennent compte d'un pourcentage moyen d'armatures.....	21

Chapitre 2 : Les adjuvants

Tableau 2.1 Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment [39]	26
---	----

Chapitre 3: les différentes méthodes de formulation

Tableau 3.1 Valeurs de (A) selon Bolomey [44].....	46
Tableau 3.2 les valeurs du coefficient K selon Bolomey [44].....	47
Tableau 3.3 Valeurs du coefficient A selon Faury [44].....	50
Tableau 3.4 Valeurs du coefficient K selon Faury [44].....	51
Tableau 3.5 Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions [46]52	

Chapitre 04 : l'effet des méthodes de la formulation et des adjuvants sur la résistance du béton

Tableau 4.1 Quelque caractéristique de L'Hydrofuge sika.....	54
Tableau 4.2 Quelque caractéristique de SIKAPLAST BV+40.....	55

Liste des figures

Chapitre 1: Généralité sur le béton

Figure 1.1 les constituants de béton.....	3
Figure 1.2 Fabrication du ciment.....	4
Figure 1.3 les différents types de granulats.....	5
Figure 1.4 Diagramme expérimental et diagramme de calcul du béton.....	19
Figure 1.5 Déformations instantanée et différée (due au fluage).....	19
Figure 1.6 Diagramme expérimental contraintes – déformations en traction simple et diagramme conventionnel de calcul.....	22

Chapitre 2 : Les adjuvants

Figure 2.1 Mode d’Action du l’adjuvant Plastifiants /Réducteurs d’eau [42].....	28
Figure 2.2 Mode d’Action du l’adjuvant Super plastifiants /Haut réducteurs d’eau [42].....	29
Figure 2.3 État de l’hydratation après 3 heures à 20 °C [42].....	31
Figure 2.4 État de l’hydratation pendant 3 heures à 20 °C [42].....	33
Figure 2.5 Résultats Observés [42].....	36

Chapitre 3: les différentes méthodes de formulation

Figure 3 1Variation relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test d’ouvrabilité C.E.S en fonction de l’affaissement dans le cas des bétons composés suivant la présente méthode (le dosage en sable augmente quand le dosage en ciment diminue) [45]...43	
Figure 3.2 courbe optimale du mélange selon Bolomey [44].....	45
Figure 3.3 Courbe optimale du mélange selon Faury [44].....	48

Liste des symboles

MF : module de finesse de sable

ES : équivalent de sable

CV : coefficient volumétrique

E /C: la quantité d'eau/la quantité de ciment

G/S : la quantité du gravier/la quantité du sable

Rn : la résistance à la compression du béton

ftj: la résistance à la traction par jour

fcj : la résistance à la compression par jour

Eij : Module de déformation longitudinal instantané du béton

Evj : le module de déformation longitudinal de béton a lange terme

fc28 : la résistance à la compression par 28 jours

Fe : la résistance à la traction de l'acier

Es : module de Young de l'acier

Résumé :

La résistance du béton est une caractéristique importante, Il faut donc l'améliorer et l'augmenter .Dans ce travail nous avons étudié théoriquement l'effet des méthodes et des adjuvants sur la résistance du béton .Les résultats de l'étude ont montré que le béton réalisé par la formulation de la méthode de BOLOMEY affiche une amélioration de la résistance à la compression par rapport à la formulation des autres et L'ajout des adjuvants en dosage spécifiques permet d'augmenter la résistance du béton.

Mots clés : béton, résistance, adjuvant, formulation du béton

Abstract:

The strength of concrete is an important characteristic, it must therefore be improved and increased. In this work we theoretically studied the effect of methods and additives on the strength of concrete. The results of the study showed that the concrete produced by the formulation of the BOLOMEY method shows an improvement in compressive strength compared to the formulation of the others and the addition of additives in specific dosages makes it possible to increase the strength of the concrete.

Key words: concrete, strength, additives, concrete formulation

ملخص:

تعتبر قوة الخرسانة من الخصائص المهمة لذلك يجب تحسينها وزيادتها. درسنا في هذا العمل نظريًا تأثير الطرق والمواد المضافة على مقاومة الخرسانة. أظهرت نتائج الدراسة أن الخرسانة الناتجة عن صياغة طريقة BOLOMEY تظهر تحسنًا في مقاومة الانضغاط مقارنة بالصيغ الأخرى كما أن إضافة مواد مضافة بجرعات محددة يزيد من مقاومة الخرسانة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ، المقاومة ،المواد المضافة ، الصياغة الخرسانية

Introduction Générale

Introduction générale

Le béton est un matériau composite. Lors du mélange des différents matériaux de base (ciment, sable, gravier et l'eau de gâchage) nous avons obtenu. Il est effectué par des plusieurs facteurs qui peut améliorer ou modifier leur propriétés parmi ces facteurs : les adjuvants et plusieurs autre.

Les adjuvants s'imposent comme un composant essentiel des bétons. Donc cette recherche décrit pour un objectif initial de l'étude de l'influence les adjuvants sur la résistance de béton.

Plans du document :

Ce manuscrit est structuré en quatre chapitres.

Le premier d'entre présente une étude bibliographique sur les définitions des différents composants du béton et des différents types du béton (leurs définitions, caractéristiques, utilisations, avantages et inconvénients).

Le deuxième chapitre consiste à faire la lumière sur les adjuvants. Où nous avons touché :

- La Définitions.
- Mode d'emploi.
- Mode d'action.
- L'effet sue le béton.
- Le domaine d'application.

Le troisième chapitre sera consacré pour les différentes méthodes des formulations du béton (méthode de Dreux gorisse, Bolomey, faury, joisel, d'abrams et vallette). Nous avons mené une recherche approfondie sur ce sujet où nous en avons parlé sur :

- Définition.
- Principe de la méthode.
- Données de base.
- Dosage de (ciment, eau, gravier, adjuvant).
- Analyses granulométrique.

Le dernier chapitre sera consacré à l'effet des méthodes et l'ajout d'adjuvants sur la résistance de béton, on a appuyé sur des études antérieures pour obtenir ces résultats.

D'après cette longue recherche on peut ressortir que les adjuvants causent de l'augmentation de résistance de béton et le béton formulé par la méthode Bolomey donne de meilleurs résultats.

Chapitre 1 Généralité sur le béton

1.1. Introduction

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le monde aujourd'hui, et sa quantité dépasse la somme de tous les autres matériaux. Sans béton, en termes de logements, d'écoles, d'hôpitaux et d'infrastructures, nous ne pourrions pas réaliser ce que nous construisons aujourd'hui. Qu'il s'agisse de robustesse ou de polyvalence, l'étendue et l'étendue de ses propriétés mécaniques et physiques ne cessent de croître, et jusqu'à aujourd'hui, son expression est toujours basée sur l'expérience et devient progressivement une méthode raisonnable d'utilisation des outils. Les ingénieurs sont construits sur des bases scientifiques, qui nécessitent l'entrée dans toutes les disciplines de la science des matériaux.

Le béton est un matériau artificiel obtenu en mélangeant en proportions convenables et de manière hétérogène, du ciment (liant), un granulat (sable + gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants. [1]

1.2. Historique du béton

Le développement de l'emploi d'un matériau de construction repose sur des critères techniques et économiques. La résistance mécanique et la durabilité du matériau fondent les principaux critères de choix techniques. La disponibilité et le faible coût des matières premières, la facilité d'emploi et le prix de revient du matériau valident les conditions économiques. Le béton est un composite qui résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau et parfois, d'ajouts minéraux et de faible quantité d'adjuvant. Ces constituants sont dosés de manière à obtenir, après le durcissement, un produit solide dont les capacités de résistance dépassent celles des meilleures roches naturelles. Cette roche artificielle résiste bien à la compression et mal à la traction, C'est pourquoi son utilisation ne s'est véritablement développée qu'avec l'invention du béton armé en 1784, ce qui permet de compenser son insuffisance de résistance à la traction. En 1930, un pas conceptuel important est alors franchi avec l'invention du béton précontraint qui permet la distribution des contraintes dans la matière, qui donnent une grande résistance à la compression, tout en évitant les inconvénients dus à sa faible résistance à la traction. Depuis 1970, des recherches menées sur le béton, et particulièrement sur ses constituants actifs conduisent à un nouveau bond qualitatif et quantitatif de ses propriétés, tels que les bétons à hautes performances dont la résistance à la compression atteint 100 MPA. Ce béton fabriqué est mis en place en 1980. Par la suite, des bétons de poudres réactives qui sont utilisées pour la 1ere fois lors de la construction de la passerelle de SHERBROOK avec des bétons de 400 MPA, sont fabriqués par un traitement thermique et mécanique approprié et simple. Ensuite, Pierre RICHARD a pu fabriquer un béton de 800 MPA en utilisant une poudre métallique. En 1986, des chercheurs Japonais ont pour la première fois fabriquée le béton auto plaçant ou le béton auto nivelant. Le béton, mélange de plusieurs constituants très différents, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants. [2]

1.3. Définition

Le béton est un matériau composite composé d'agrégats grossiers et d'agrégats fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte durcie. Le mortier est composé de coulis de ciment hydraté et de sable. Sa fonction est de se combiner avec de gros agrégats pour former une masse solide. Des adjuvants et additifs sont utilisés pour améliorer certaines propriétés du béton frais ou durci. [3]

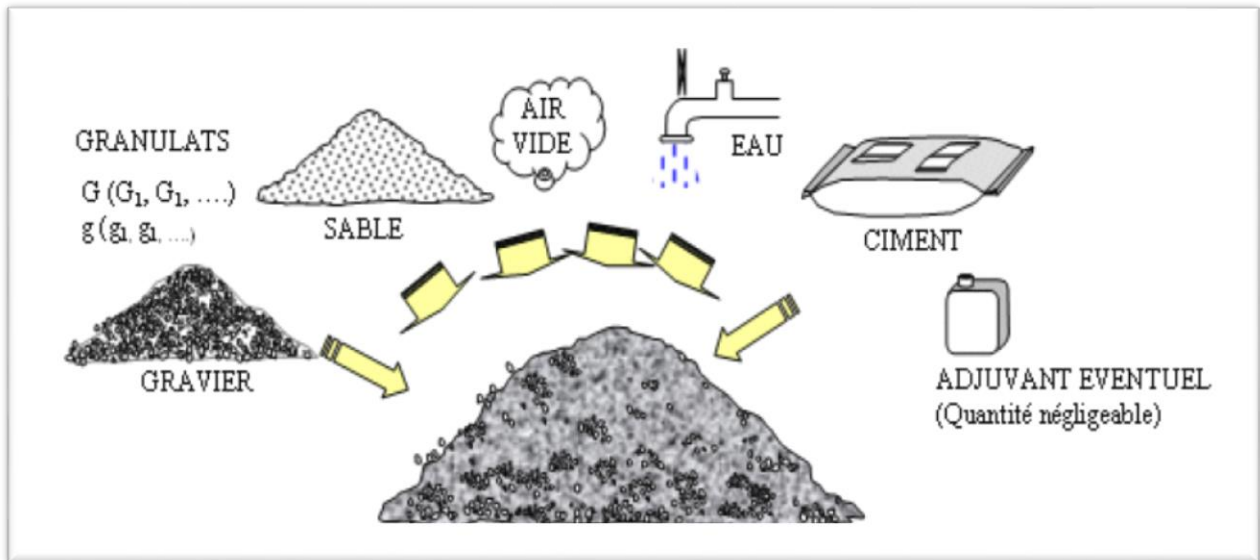


Figure 01-1 les constituants de béton

1.4. Les Composants d'un béton

1.4.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, sous forme de poudre minérale fine, qui va s'hydrater en présence d'eau. Il forme une pâte durcissant, qui peut durcir progressivement à l'air ou à l'eau. C'est le composant de base du béton car il peut transformer le mélange sans s'agglomérer en un solide. [4]

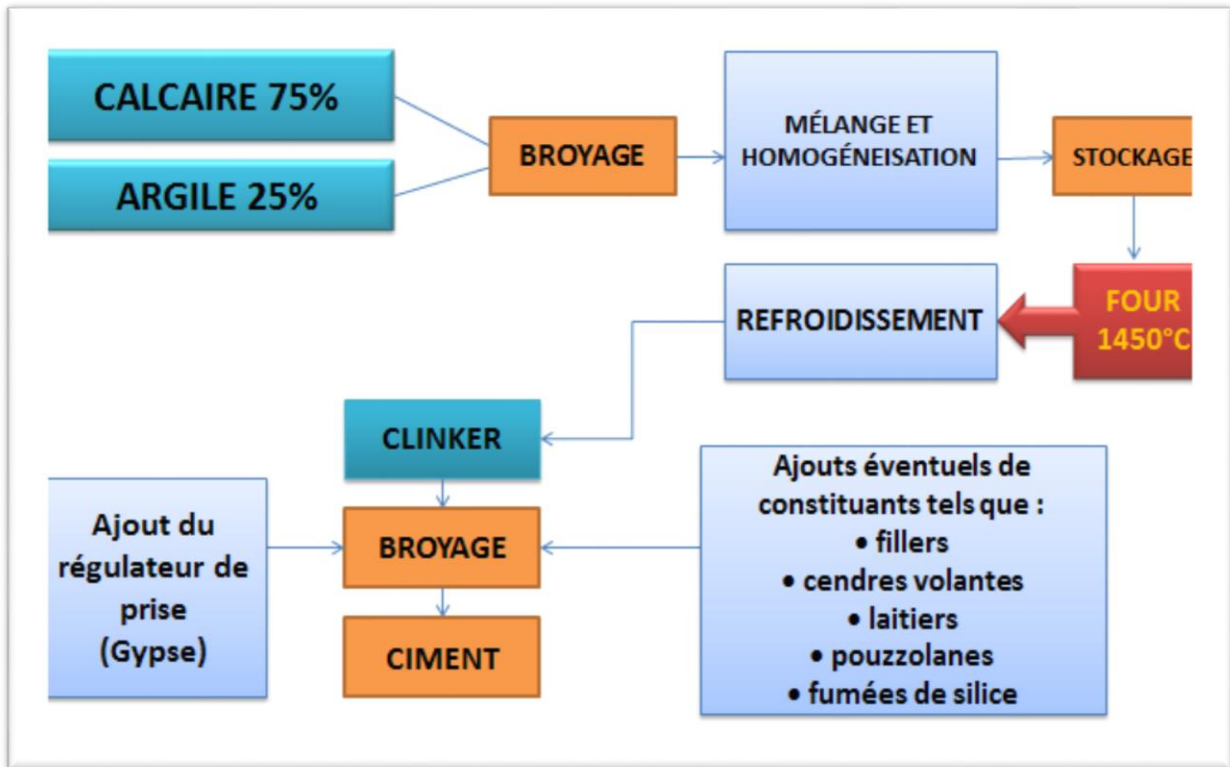


Figure 01-2 Fabrication du ciment

1.4.1.1 Différents types de ciments

Il existe selon la norme NF EN 197-1, 5 types des ciments [5].

CEM I	Ciment Portland
CEM II	Ciment Portland composé
CEM III	Ciment de haut fourneau
CEM IV	Ciment pouzzolanique
CEM V	Ciment composé

Tableau 01-1 Types de ciments

1.4.2. Les granulats

Le petit matériau de pierre produit par l'érosion ou le concassage mécanique (concassage) des roches est appelé agrégat. Ce sont des matériaux inertes utilisés pour la composition du béton et du mortier. Ils forment le squelette du béton et représentent environ 80% du poids total du béton. Ils sont constitués de sable (grossier et fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent

Généralité sur le béton

répondre à certaines exigences de qualité avant de pouvoir être utilisés dans le béton. L'utilisation d'agrégats dans le béton présente deux avantages :

La première économie: réduire la quantité de liant (ciment et additifs); la deuxième technique: limiter le changement dimensionnel du béton (le granulat est plus dur que la pâte de ciment). Selon leur taille, on peut distinguer: sable, gravier, galets, galets et gravats. La taille soulignée est la taille de la série de base recommandée par la norme européenne (NF EN 933-2) [6]

On distingue les familles de granulats suivantes :

- Fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm
- Sablons 0/D où $D < 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm
- Sables 0/D où $1 < D < 6,3$ mm
- Graves 0/D où $D > 6,3$ mm
- Gravillons d/D où $d > \text{let } D < 125$ mm
- Ballasts d/D où $d > 25$ mm et $D < 50$ mm



Figure 1-3 les différents types de granulats

1.4.2.1. Le gravier

L'origine du gravier est similaire à celle du sable et provient de la désintégration des roches. La taille maximale de l'agrégat est limitée d'une part par la distance minimale à atteindre, et d'autre part par la distance minimale entre les différents renforts de la structure. Un score de 3/8 est considéré comme du sable concassé. [7]

1.4.2.2. Sable

Le sable est défini comme la fraction d'agrégats de pierre dont la granulométrie est comprise entre 80 µm et 05 µm; c'est une définition globale, et sa limite varie d'une catégorie à l'autre. C'est un type qui a un diamètre maximum inférieur à 6,3 mm et ne passe pas à 80 µm. Plus de 30% du matériel. Le «sable» le plus courant fait référence aux éléments d'une taille de 0 à 5 mm. [8]

1.4.3 .L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle peut hydrater le ciment et peut également favoriser la construction de béton ou de mortier, contribuant ainsi à sa maniabilité. L'eau doit être propre et exempte d'impuretés nocives (matière organique, alcali). L'eau potable est toujours appropriée et le mélange avec l'eau de mer doit être évité, en particulier pour le béton armé. Les caractéristiques de l'eau utilisée pour fabriquer le mortier et le béton sont spécifiées dans la norme NA-442. Le mortier doit contenir le maximum d'eau et avoir la meilleure maniabilité. [9]

1.4.4 .Les adjuvants

Ce sont des produits à faible dose qui sont ajoutés au béton pour améliorer certaines qualités. Ce sont des produits organiques synthétiques (polymères). Il y a essentiellement une différence entre les adjuvants qui accélèrent ou retardent la coagulation, les additifs qui réduisent l'eau (plastifiants) et les super plastifiants (super plastifiants ou diluants). Le dosage en adjuvant ne doit pas dépasser 5% de la masse de ciment [10].

1.5. Les différents types du béton

1.5.1. Béton ordinaire

1.5.1.1. Définition

Pour le béton ordinaire, l'agrégat est constitué de pierres (sable, gravier, cailloux) et le liant est du ciment (généralement du ciment Portland), et ils se solidifient par hydratation. La réaction chimique qui permet au béton de prendre est lente (50% de la résistance finale est atteinte au bout de 7 jours). La valeur utilisée comme référence dans le calcul est la valeur obtenue à 28 jours (80% de la résistance finale).

Ce type de béton est utilisé dans un grand nombre de constructions et de travaux publics: fondations, structures, murs, ponts, etc. Le béton ordinaire est un mélange de plusieurs composants (ciment, granulats, eau); il forme un tout hétérogène; leur densité est d'environ 2500 Kg / m³. [11]

1.5.1.2. Formulation du béton ordinaire

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment. [12]

- la méthode de Baron.
- la méthode de Bolomey.
- la méthode de Féret.
- la méthode de Faury.
- la méthode de Dreux-Gorisse.

1.5.1.3. Caractéristiques du BO

1.5.1.3.1. A l'état frais

La principale propriété du béton à cet état est son ouvrabilité. En effet, le béton offre une facilité de remplissage du coffrage et du ferrailage lors de la mise en œuvre. Pour remplir toutes ses qualités, les constituants du béton doivent être soigneusement mélangés.

Cette ouvrabilité est influencée par le dosage et la qualité des composants, la forme, la granulométrie et le type de granulats, le volume d'air mais surtout par la quantité d'eau insérée dans le béton. Cependant, il faut faire très attention car au-delà d'une certaine quantité, on observera :

- Un ressuage qui est un phénomène de remontée d'une partie de l'eau de gâchage à la surface du béton frais
- L'augmentation de la porosité et du retrait (phénomène de raccourcissement accompagnant la prise du ciment suite à une baisse de température)
- Une diminution de la résistance et un risque de ségrégation des constituants (les granulats descendent tandis que les liants remontent à la surface). [13]

1.5.1.3.2. A l'état durci

- **La porosité**

La porosité est une caractéristique extrêmement importante pour un béton. La réduction des vides est essentielle, notamment dans le but de faire face aux agents agressifs extérieurs et de lutter contre les risques de corrosion des armatures dans le cas d'un béton armé.

Le choix du type de ciment à mettre en œuvre et l'augmentation du dosage permettent la réduction des vides et contribuent donc fortement à la durabilité de l'ouvrage. [13]

- **Les résistances mécaniques**

La résistance varie en grande partie en fonction :

- Du dosage et du type de ciment employé

- Du volume d'air subsistant dans le béton ou la porosité
- du dosage en eau

La résistance en compression du béton ordinaire à 28 jours d'âge est comprise entre 30 à 45 MPa.

La résistance en traction du béton est comprise entre 8 et 12% de la résistance en compression. Par contre, la résistance en cisaillement du béton est d'environ 5% de la résistance en compression. [13]

- **La résistance au cycle gel-dégel et écaillage**

La résistance au cycle gel-dégel du béton dépend de plusieurs facteurs qui sont :

- Le rapport eau-liant
- Le volume d'air entraîné
- La durée de la période de séchage avant l'exposition au cycle

Pour y faire face, il est indispensable d'augmenter le volume d'air avec des adjuvants tels que les entraîneurs d'air. Leur teneur en air varie de 4 à 8% selon les conditions d'exposition. Ils ont une bonne capacité de résistance. Cette résistance est accrue pour les bétons à hautes performances. [13]

- **Les retraits**

Un retrait hydraulique est observé avant et en cours de prise. Il peut être causé soit par évaporation, soit par absorption. Avant et en cours de prise, il peut atteindre un litre d'eau par mètre carré de surface de béton en seulement une heure. Même après le durcissement, il y a encore des retraits observés.

Le retrait thermique est dû à la réduction rapide de la température. Ce retrait est de l'ordre de 200 à 300 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Le retrait diminue considérablement quand le durcissement se fait sous l'eau. C'est la raison pour laquelle on essaie toujours de rendre les pièces humides durant cette phase de durcissement en les arrosant. [13]

- **Module d'élasticité**

Sous l'action de charges instantanées, le béton a un comportement élastique. Plus la résistance du béton est élevée, plus le module d'élasticité est grand. Le module d'élasticité instantané est compris entre 30 000 et 35 000 MPa. [13]

- **La perméabilité du béton**

Plus un béton est imperméable, plus il a une grande durabilité dans la mesure où les agents agressifs ne peuvent pas agir. Elle est donc liée à la porosité. L'imperméabilité du béton ordinaire est bonne. Sa valeur est de 1×10^{-10} cm/s. [13]

- **Réaction alcalis-granulats**

C'est une réaction due à la présence des alcalis dans le liant et la silice réactive des granulats. Il faut faire très attention à la teneur en alcalis du liant et de cette réactivité qui peuvent causer un élargissement interne du béton afin d'éviter les fissures sous forme de faïençage à la surface du béton. [13]

- **Le fluage**

C'est un phénomène de déformation différée causé par l'effet d'une charge fixe indéfiniment appliquée. On estime qu'au bout d'un mois, 40 % de la déformation de fluage sont effectifs et au bout de six mois, ce sont les 80%. Cette déformation est généralement entre 4 à 5 % de la longueur de l'ouvrage en question. Il est trois fois plus grand que la déformation due aux charges instantanées vu précédemment. [13]

1.5.1.4. Utilisation du béton

Les bétons, de par leurs propriétés et leurs caractéristiques, répondent aux exigences de tous les types d'ouvrages, notamment par leur grande. [13]

1.5.1.5. Les Avantages et les Inconvénients

Principaux Les Avantages et les Inconvénients de l'Emploi du béton [14].

1.5.1.4.1. Les Avantages

- résistance, durabilité, longévité et résilience sans égal
- efficacité énergétique maximisée grâce à sa masse thermique
- durabilité dans tout environnement

1.5.1.4.2. Les inconvénients

- Faible résistance à la traction.
- Le placement d'un revêtement de façade lourd (brique, pierre naturelle...) entraîne des coûts considérables, notamment pour les fondations plus épaisses et les linteaux de fenêtre.

1.5.2. Béton auto-plaçant (BAP)

1.5.2.1. Définition

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon, le béton auto-plaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration, ils se caractérisent en général par une formulation contenant au moins un adjuvant chimique et un ajout minéral en proportions bien précises pour satisfaire les exigences en matière de maniabilité et de stabilité [15] .

1.5.2.2. Modes de formulation des BAP

Le grand problème de ce type de béton est de trouver une méthode de formulation, il existe plusieurs approches de formulation qui ont été élaborées à travers le monde (approche Japonaise, approche suédoise, approche du LCPC, etc.) pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton [16]

Deux grandes familles prévalent actuellement :

- la première concerne des formulations fortement dosées en ciment et contenant une proportion d'eau réduite. La quantité de ciment très importante (450 à 600 kg/m³) est nécessaire pour augmenter le volume de pâte afin d'améliorer la déformabilité du mortier. Ce volume important de pâte limite par conséquent les interactions inter-granulats (dont la quantité est parallèlement diminuée) et l'utilisation d'adjuvants tels que les super plastifiants et les agents de viscosité permettent d'en contrôler la fluidité et la viscosité. Cette approche de formulation conduit toutefois à des bétons de hautes performances mécaniques, onéreuses et mal adaptés à des ouvrages courants. [17]. [18]

- une deuxième famille de formulations repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales. Ces additions, comme les fillers calcaires par exemple, permettent d'obtenir un squelette granulaire plus compact et plus homogène. La quantité d'adjuvant nécessaire à l'obtention d'une fluidité et d'une viscosité données est alors diminuée. Leur utilisation conduit également à conserver des résistances mécaniques et des chaleurs d'hydratation raisonnables. [19]

1.5.2.3. Caractéristiques du BAP

Le béton auto plaçant facilite grandement la tâche des ouvriers lors de la mise en place du béton. Ce type de béton peut s'écouler et se compacter simplement par l'effet de la gravité qui est exercé sur lui. L'hyper fluidité facilite ainsi le remplissage des coffrages et l'enrobage des éventuelles armatures, tout en conservant une homogénéité. C'est un béton extrêmement fluide. C'est ce qui rend ce béton si révolutionnaire dans le monde de la construction ! Avec le béton auto plaçant, plus besoin de système de vibration pour le mettre en place. Même sans vibration, le béton auto-nivelant enrobe parfaitement le treillis soudé disposé au fond du coffrage (aussi appelé "armature", servant à armer le béton pour le rendre plus résistant). Une fois coulé dans le coffrage, le béton auto nivelant offre, comme tout liquide, une planéité idéale. De ce fait, il n'est pas nécessaire d'araser le béton, c'est-à-dire de lisser sa surface au moyen d'une règle de maçon, d'une taloche à la main ou encore d'un aplatissoir (les aplatissoirs sur perche vous permettent de lisser le béton traditionnel en hauteur sur une grande longueur). [20]

1.5.2.4. Avantages et inconvénients

1.5.2.4.1. Avantages

- Absence de vibration pour sa mise en place
- Facilité et rapidité de la mise en œuvre
- Amélioration des conditions de travail suite à l'absence de nuisances sonores
- Excellent remplissage des coffrages
- Béton de qualité et surface plane, régulière
- Possibilité de bétonner des formes complexes [20]

1.5.2.4.2. Inconvénients

- Comme c'est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire [20]

1.5.2.5. Utilisations du BAP

Le BAP est majoritairement retrouvé dans les constructions au sol. Il est employé dans de nombreuses applications :

- Dalles
- Radiers
- Plancher chauffant
- Poteaux, poutres, voiles
- Fondations superficielles

Le BAP est régulièrement utilisé dans ces applications car il se met en place aisément et sans vibration, tout en ayant une excellente qualité. [20]

1.5.3. Béton de hautes performances (BHP)

1.5.3.1 Définition

Sont des bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral E/C inférieur à 0.40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires. [21]

1.5.3.2. Formulation du béton à haute performance

La recherche des hautes performances passe par la réduction de la porosité du béton durci, c'est-à-dire de son pourcentage de vides. En effet, les dimensions et les volumes des pores capillaires sont les principaux paramètres qui régissent les résistances mécaniques du béton et les propriétés de transfert déterminantes pour la durabilité. L'optimisation de la formulation d'un BHP consiste à diminuer la porosité de la matrice cimentaire et à optimiser le squelette granulaire. Des outils spécifiques de contrôle ont été développés pour faciliter la formulation des BHP: méthode des coulis AFREM, méthode MBE (Mortier de Béton Équivalent), logiciel BETONLAB. [22]

1.5.3.3. Caractéristiques du BHP

Résistances caractéristiques à 28 jours, mesurées sur éprouvettes cylindriques, supérieures à 50MPa. [23]

- Consistance S4 (affaissement au cône d'Abrams de 160 à 210 mm).
- Pompable.
- Résistances élevées au jeune âge.
- Compacité optimale (faible rapport E/C).
- Durabilité exceptionnelle.
- Faible perméabilité.
- Forte résistance à l'abrasion.
- Faible retrait limitant la fissuration.

- Fluage plus faible que celui d'un béton courant.

1.5.3.4. Utilisations des Bétons à Hautes Performances

- Ouvrages d'art - Génie Civil et nucléaire (Ponts, tunnels, voussoirs, ouvrages fortement sollicités, poutres, enceintes, galeries techniques, ouvrages hydrauliques...)
- Bâtiments - Immeubles de grandes hauteurs - Parkings - Equipements sportifs (Eléments de structures (poutres, poteaux, murs porteurs...)).
- Voirie - Dallage :
 - Plate-forme d'exploitation et de stockage (offshore, agricole...).
 - Voies de circulation très sollicitées (péages, giratoires, taxiways...).
 - Dallages industriels, sans chape anti-abrasion. [23]

1.5.3.5. Avantages et inconvénients

Si le béton haut performance présente des caractéristiques hors normes, il existe quand même quelques désavantages à ce matériau. [24]

1.5.3.5.1. Avantage

- Il est très résistant et peut donc être utilisé pour des constructions solides
- Il n'est pas sensible au cycle de gel et dégel et se fissure donc plus difficilement
- Il est facile à mettre en place
- C'est un matériau très durable

1.5.3.5.2. Inconvénient

- Il n'est pas très utile pour les petits travaux
- Il coûte plus cher qu'un béton classique
- Il est composé de substances chimiques qui sont moins écologiques

1.5.4. Béton de fibres

1.5.4.1. Définition

Le béton fibré est un matériau composé de fibres. Lors de la formulation de ce béton, des fibres sont ajoutées aux divers matériaux qui le composent. Pour obtenir un béton fibré à la hauteur des performances recherchées, vous devez obtenir un mélange dans lequel les fibres sont réparties de manière homogène. Ces fibres, de composition diverse, permettent d'obtenir un béton amélioré qui peut convenir à de nombreux usages. [25]

1.5.4.2. Caractéristiques du béton fibré

Parmi caractéristiques du béton fibré :

- Résistance à la flexion et ductilité : les fibres améliorent la ductilité du béton. Autrement dit, elles permettent au béton fibré de se déformer sans se rompre.

- Résistance à la fatigue : les fibres rendent également le béton plus résistant sur le long terme en limitant la fissuration du matériau.
- Résistance à l'abrasion : l'abrasion est un phénomène d'usure provoqué par des frottements répétés, pouvant provoquer la fissuration du matériau. Le fait d'incorporer des fibres au béton permet donc d'améliorer la résistance à l'abrasion et par conséquent de limiter la fissuration. [25]

1.5.4.3. Formulation du béton fibré

La composition du béton fibré est très proche de celle du béton ordinaire. Lors de la formulation de béton fibré, la quantité de fibre varie selon l'application et le type de fibre. De plus, avant d'ajouter des fibres, vous devrez vous assurer en amont de la compatibilité des fibres avec les autres matériaux du mélange.

Afin d'obtenir un mélange fluide, ce qui n'est pas toujours aisé en présence de fibres, vous devrez ajouter un adjuvant. Pour obtenir une maniabilité correcte, les bétons fibrés ont souvent besoin d'adjuvants tels que les superplastifiants. Ces derniers vous permettront d'obtenir un béton ouvrable, même en présence de fibre. [25]

1.5.4.4. Les familles de fibres

Familles de fibres	Matériaux	Caractéristiques
Fibres métalliques	Acier, Fonte, Inox	Bonne résistance à la flexion, à la traction et à la rupture. Réduction de la dimension des fissures.
Fibres organiques	Acrylique, Aramide, Carbone, Kevlar, Polyamide, Polypropylène/Polyéthylène, Polypropylène	Réduction de la fissuration au jeune âge (retraits plastiques). Fibres souples, ce qui améliore leur ouvrabilité. Peu résistantes aux températures élevées (140-170°C maximum).
Fibres minérales	Basalte, Mica, Verre, Wollastonite	Excellente tenue au feu (800°C maximum). Bonne isolation thermique. Permet la fabrication de parois très minces.

Tableau 01-2 Les familles de fibres [25]

1.5.4.5. Avantages et inconvénients du béton fibré

1.5.4.5.1. Avantages

- Facile à mettre en œuvre
- Béton plus léger que le béton ordinaire
- Béton plus durable
- Remplacement total ou partiel des armatures traditionnelles passives (fibres métalliques)
- Diminution du risque de fissuration
- Résistance au feu, à l'abrasion, aux chocs, à la traction et à la flexion [25].

1.5.4.5.2. Inconvénients

- Le béton fibré est plus cher que le béton ordinaire (environ 70€ le m²)
- L'incorporation de fibres diminue l'ouvrabilité du béton, l'ajout de super plastifiant est alors recommandé.
- Il est interdit d'utiliser des fibres structurelles en zone de risque sismique modéré et plus. [25]

1.5.4.6. Utilisations des bétons fibré

On retrouve le béton fibré dans de nombreuses applications similaires au béton ordinaire :

- Dalles
- Fondations
- Planchers [25]

1.5.5. Béton léger

1.5.5.1. Définition

La norme NF EN 206-1 définit les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage entre 800 et 2100 kg/m³, parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique d'une habitation (isolation thermique) et même comme éléments porteurs de charges qui permettent d'alléger la construction. [26]

1.5.5.2. Caractéristiques du béton léger

Le béton léger se différencie donc des autres types de béton, notamment par son poids bien inférieur à celui du béton classique. Une fois sec, celui-ci possède une densité pouvant aller de 300 à 1800 kg/m³, alors qu'un béton ordinaire se situe plutôt entre 2000 et 2300 kg/m³. [27]

Le béton léger possède des propriétés d'isolation thermique et phonique. Il permet de réduire le bruit dans un environnement donné et favorise l'isolation de la chaleur [28]

1.5.5.3. Formulation du béton léger

Il existe différentes manières d'obtenir du béton léger :

- On peut fabriquer du béton léger grâce à des ingrédients permettant d'obtenir un matériau final allégé. A la place des granulats de type gravillons qu'on retrouve

habituellement dans les bétons classiques, on introduit des granulats allégés tels que des billes de polystyrène ou des billes de schiste expansé.

- On peut également concevoir du béton léger en jouant sur la composition. Pour cela, il suffit de créer des vides d'air dans le béton, ce qui nous donne du béton caverneux. [27]

1.5.5.4. Avantages et inconvénients

1.5.5.4.1. Avantages

- Plus léger qu'un béton classique
- Bonne isolation phonique et thermique
- Mise en place facile et rapide
- Forte maniabilité
- Non inflammable [27]

1.5.5.4.2. Inconvénients

- Résistance moins élevée que pour un béton ordinaire (voir résistance à la compression) [27]

1.5.5.5. Utilisations du Béton Léger

On retrouve le béton léger dans diverses applications

- Fondation : On peut retrouver du béton léger dans les fondations. En effet, ce dernier étant moins lourd que le béton classique, il peut être placé sur une structure demandant une résistance moins élevée à la charge. Ceci peut être un avantage car la structure est donc plus facile à mettre en place et par conséquent, des économies sont faites.
- Rénovation : Ce béton étant plus léger qu'un béton classique, cela permet donc de réaliser des rénovations sans avoir à renforcer au préalable la structure sur laquelle on souhaite l'appliquer.
- Isolation : Le béton léger a comme particularité d'être à la fois un bon isolant thermique et phonique. De ce fait, il est très utilisé lors de la conception de mur ou de dalle.
- Chape : Le béton léger peut aussi être utilisé afin de concevoir une chape sèche, qui est d'ailleurs considérée comme un bon isolant phonique et thermique. [27]

1.5.6. Béton lourd

1.5.6.1. Définition

Le béton lourd est un béton qui affiche une densité particulièrement élevée comparée à celle du béton classique. Après séchage, cette densité est de 3 000 kg/m³ (pouvant même aller jusqu'à 6 000 kg/m³) contre 2 000 à 2 300 kg/m³ pour le béton traditionnel [29]

1.5.6.2. Formulation du béton lourd

Comme tout autre béton, le béton lourd est fabriqué à base de ciment, d'eau et de granulats. Notamment, il est composé de granulats très denses et possédant une viscosité plus élevée. On

utilise souvent de la magnétite, de l'hématite, de la barytine ou encore du plomb. Il est également possible de recourir à des déchets ferreux tels que les grenailles ou les riblons. Généralement, l'eau est faiblement dosée dans la composition de ce type de béton. Les mélanges de granulats lourds, de graviers et de sable naturel donnent des bétons lourds de masse volumique allant jusqu'à environ 3 800 kg/m³. Pour obtenir des masses volumiques proches de 5 900 kg/m³, il faut ajouter du fer ou de l'acier [29].

1.5.6.3. Caractéristiques du béton lourd

C'est un béton dont la masse volumique apparente est supérieure à 2600 kg/m³, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celle des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau. [31]

1.5.6.4. Utilisations du Béton lourd

Le béton lourd est particulièrement employé dans la réalisation d'ouvrages de : [30]

- stabilisation, tels des radiers lourds, des culées de ponts, des contrepoids.
- protection contre les rayonnements ou les explosions, tels des écrans de protection contre les rayons X, rayons gamma et autres rayons radioactifs pour les centrales nucléaires, ou les salles de radiothérapie.

1.5.6.5. Avantages et inconvénients

1.5.6.5.1. Avantages [30]

- C'est une construction solide et stable qui résiste très bien au temps.
- Il offre également une barrière efficace contre les rayons X, les rayons Gamma et les autres émanations radioactives. [30]

1.5.6.5.2. Inconvénients

- Le système de construction se prête beaucoup moins à une architecture plus classique et traditionnelle.
- Les adeptes d'architectures écologiques apprécient moins même si le béton est entièrement recyclable. [30]

1.5.7. Béton armé

1.5.7.1. Définition

Le béton armé est un matériau de construction qui associe béton et barres d'acier. Il conjugue ainsi les qualités de compression du béton et la résistance à la traction de l'acier. [32]

1.5.7.2. Dosage pour 1 m³ de béton

	Béton de fondation	Dallage béton	Béton armé
Ciment	350kg	300kg	400kg
Granulat	1050kg	1100kg	980kg
Sable	800kg	830kg	720kg
Eau de gâchage	175L	155L	195L

Tableau 01-3 dosage pour 1 m³ de béton [33]

1.5.7.3. Caractéristiques mécaniques

Le béton est caractérisé par une bonne résistance à la compression f_{cj} et une résistance médiocre en traction f_{tj} . Un module d'Young qui prend deux valeurs selon que l'on considère des déformations instantanées E_{ij} ou des déformations à long terme, déformations différées, E_{vj} . [34]

1.5.7.4. Essais de laboratoire

Expérimentalement la résistance à la compression se mesure le plus souvent sur des éprouvettes cylindriques de diamètre 16cm et de hauteur 32cm. La résistance à la traction s'obtient soit par essai de traction par fendage (dit essai Brésilien) soit par un essai de flexion sur éprouvette prismatique. [34]

- **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 simple sur éprouvettes cylindriques de section 200 cm² 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 16x32. 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. [34]

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

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

- **Résistance à la traction du béton**

La résistance à la traction du béton à j jours, notée ft_j et exprimées en MPa est définie conventionnellement par la relation [34] .

$$ft_j = 0,6 + 0,06 \cdot fc_j \quad \text{si } fc_{28} < 60 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad ft_j = 0,275 \cdot fc_j^{2/3} \quad \text{si } 60 < fc_{28} < 80 \text{ MPa}$$

fc28 [MPa]	20	25	30	40	60	80
ft28 [MPa]	1.8	2.1	2.4	3	4.2	5.1

Tableau 01-4 quelque valeur de la résistance à la traction du béton

- **Déformations longitudinales du béton**

Un essai de compression simple sur éprouvette 16x32 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 (Etats Limites Ultimes) sera le diagramme dit "de calcul" (voir chapitre 4, § 4.1). 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. [34]

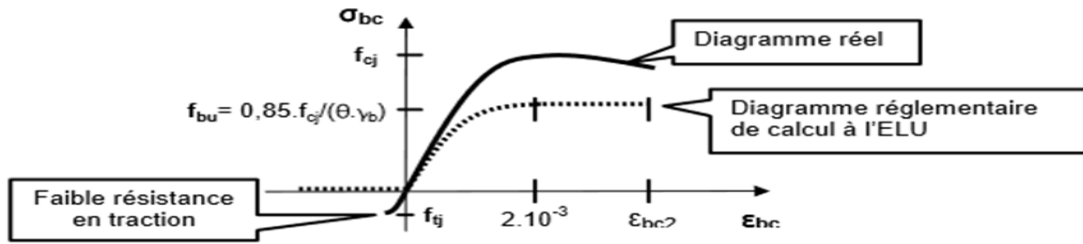


Figure 01-4 Diagramme expérimental et diagramme de calcul du béton

$\epsilon_{bc2} = 3,5 \cdot 10^{-3}$ si $f_{cj} < 40\text{MPa}$ et $\epsilon_{bc2} = (4,5 - 0,025 \cdot f_{cj}) \cdot 10^{-3}$ si $f_{cj} > 40\text{MPa}$

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

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

$\gamma_b = 1,5$ à l'ELU normal et 1,15 à l'ELU accidentel.

Un élément de béton comprimé admet dès l'application de la charge une déformation instantanée. Mais au cours du temps, cette déformation va continuer à croître du fait du fluage (déformation dans le temps, sous charge constante) et sera même trois fois plus importante que la déformation instantanée. [34]

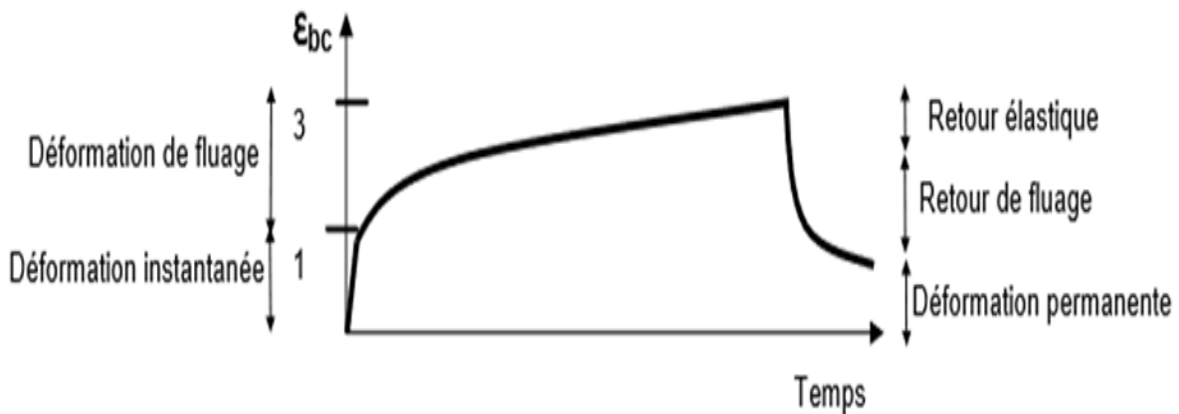


Figure 01-5 Déformations instantanée et différée (due au fluage)

Généralité sur le béton

Déformations instantanées	formations différée
<p>Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, on admet à l'âge de j jours, un module de déformation instantanée du béton de:</p> $E_{ij} = 11000 \cdot f_{cj}^{1/3}$	<p>Les déformations différées du béton comprennent le retrait et le fluage. Le module de déformation différée correspondant à des charges de longue durée d'application (réglementairement plus de 24 heures) est:</p> $E_{vj} = 3700 \cdot f_{cj}^{1/3} \quad \text{si } f_{cj} < 60 \text{MPa}$ $E_{vj} = 4400 \cdot f_{cj}^{1/3} \quad \text{si } 60 < f_{c28} < 80 \text{MPa, sans fumée de silice}$ $E_{vj} = 6100 \cdot f_{cj}^{1/3} \quad \text{si } 60 < f_{c28} < 80 \text{MPa, avec fumée de silice}$
<p>avec f_{cj} en MPa et pour les bétons à haute résistance, sous réserve que la proportion volumique de granulat soit supérieure à 66%.</p>	

Tableau 01-5 Déformations instantanée et différée (due au fluage) [34]

fc28	Eij	Eij
25	32160	10820
30	34180	11500
40	37620	12650
60	43060	17220
80	47400	18960

Tableau 01-6 quelque valeur de fc28, Eij et Eij [43]

- **Retrait**

Le raccourcissement unitaire (ϵ) du au retrait, dans le cas de pièces non massives à l'air libre est estimé à : (ces valeurs tiennent compte d'un pourcentage moyen d'armatures). [34]

Généralité sur le béton

1,5.10-4	Dans les climats très humides
2.10-4	Dans les climats humides (France sauf quart Sud Est)
3.10-4	Dans les climats tempérés secs (quart Sud Est de la France)
4.10-4	En climat chaud et sec
5.10-4	En climat très sec ou désertique

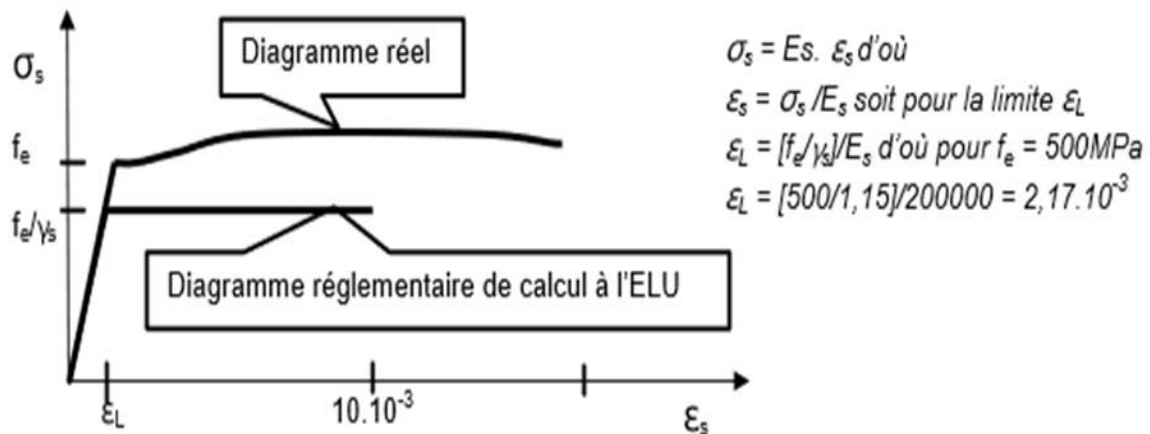
Tableau 01-7 valeurs tiennent compte d'un pourcentage moyen d'armatures

- **L'Acier**

Au cours des premières décennies de l'histoire du béton armé, les armatures étaient constituées de barres d'acier doux, lisses, de section circulaire dont la limite d'élasticité était habituellement comprise entre 215 et 235 MPa. Ce type d'acier n'est pratiquement plus utilisé. On utilise désormais des aciers de limite d'élasticité plus élevée afin de réduire les sections d'armatures. Pour améliorer l'adhérence des armatures au béton on crée à la fabrication des aspérités en saillie ou en creux. Les aspérités en saillie inclinées par rapport à l'axe de la barre sont appelées « verrous ». Les aspérités en creux sont appelées « empreintes ». Ces aciers sont dits à Haute Adhérence (HA) et ont couramment une limite élastique de 500MPa. [34]

- **Caractéristiques mécaniques d'acier**

Les caractéristiques mécaniques servant de base aux calculs des éléments de béton armé sont: La limite élastique garantie notée f_e : $f_e = 500$ MPa Suivant les types d'acier, cette limite peut être apparente (acier doux, naturellement durs) ou fixée conventionnellement à 2.10-3 d'allongement rémanent (fils tréfilés lisses). Le module d'élasticité de l'acier est pris égal à $E_s = 200.000$ MPa Comme pour le béton, il faut distinguer le diagramme contrainte - déformation réel du diagramme conventionnel de calcul à l'ELU qui sera utilisé pour le dimensionnement des éléments de béton armé. [34]



A l'ELU normal $\gamma_s = 1,15$ et à l'ELUU accidentel $\gamma_s = 1$

Figure 01-6 Diagramme expérimental contraintes – déformations en traction simple et diagramme conventionnel de calcul.

1.5.7.5. Les Avantages du béton armé

Le béton fait partie si intégrante de nos collectivités parce qu'il est le seul matériau capable de produire de façon économique les avantages suivants :

- plus faible empreinte carbone sur le cycle de vie d'une structure ou d'un pavage
- résistance, durabilité, longévité et résilience sans égal
- efficacité énergétique maximisée grâce à sa masse thermique
- durabilité dans tout environnement
- un matériau de construction qui ne brûle pas, ne rouille pas ou ne pourrait pas sûreté et sécurité
- versatilité il peut être moulé sous toutes formes, couleurs et motifs imaginables n'émet pas de gaz
- excellente isolation aux vibrations et aux sons
- faibles coûts d'entretien
- 100% recyclable; de plus, les matériaux nécessaires pour fabriquer le béton sont abondants dans presque toutes les régions de la planète [35].

1.5.7.6. L'utilisation de béton armé

L'utilisation la plus courante du béton dans les constructions est le béton armé. Celui-ci est utilisé pour la construction de bâtiments, d'usines, de réservoirs et de silos de petite capacité, de ponts de petite portée, de routes, d'ouvrages de fondation...

Dans ce matériau, les armatures métalliques reprennent les efforts de traction, apportent la ductilité (déformations importantes avant rupture) et le béton reprend les efforts de compression et protège les armatures de la corrosion. Si l'on prend l'exemple d'une poutre sollicitée en flexion (fig. 1), sa partie supérieure est soumise à de la compression et sa partie inférieure à de la traction. Les armatures de flexion sont donc placées dans le bas de la poutre. Des armatures transversales, perpendiculaires en général aux armatures de flexion, sont également nécessaires pour reprendre les efforts de traction liés à l'effort tranchant. [36]

1.5.8. Béton préfabriqué

1.5.8.1. Définition

Le béton préfabriqué est un béton ou un objet en béton que le particulier ou l'entreprise de construction ne fabrique pas lui-même. Une usine le réalise sur ses sites de production dédiés. [37]

1.5.8.2. Utilisation du béton préfabriqué

Les bétons préfabriqués peuvent être standards ou sur-mesure. Conception et fabrication peuvent concerner des éléments d'un futur bâtiment ou le bâtiment dans son ensemble. On trouve ainsi des dalles, des parpaings, des blocs de coffrages et des escaliers ou balustrades en béton préfabriqué. Cette technique consiste ensuite à assembler sur le chantier les éléments préconstruits. Le béton préfabriqué peut donner lieu à de multiples variations. Matériau de construction composite, ses qualités techniques diffèrent selon les dosages. Il est aussi un matériau d'expression architecturale, car on peut jouer sur son relief, sa teinte, son état de surface et sa texture. [37]

1.6. Conclusion

Le béton est un matériau de construction important dans le monde. Il a plusieurs caractéristiques qui le distinguent. Il est classé en plusieurs types différents pour chaque type a des propriétés.

Chapitre 2

Les adjuvants

2.1. Introduction

Un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse du ciment) aux bétons, mortiers ou coulis, lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications des propriétés du mélange, à l'état frais ou durci.

L'utilisation d'adjuvants remonterait aux Romains qui utilisaient du sang de bœuf et du jaune d'œuf dans leur mélange de chaux et de pouzzolane. Le pouvoir coagulant du sang était utilisé pour accélérer la prise des mortiers. Au début, les adjuvants étaient à base de matière organique et utilisés de manière empirique.

Au cours du XXe siècle, des progrès scientifiques ont permis de développer des adjuvants avec des propriétés spécifiques. Leur utilisation s'est généralisée ces dernières décennies. Ils sont aujourd'hui incorporés dans tous les types de bétons, qu'ils soient livrés prêts à l'emploi, utilisés en usine de préfabrication ou fabriqués sur chantier. [38]

2.2. Un peu d'histoire

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland vers 1850, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. Dès 1881, Candlot étudie l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise. Le sucre, déjà connu comme retardateur de prise, est souvent employé à partir de 1909. Entre 1910 et 1920, débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Depuis 1960, avec le développement du béton préfabriqué et du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante, fruit d'une expérimentation progressive.

Le développement important des adjuvants nécessite la création en 1964, de la COPLA (Commission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants de béton). Elle a pour mission l'agrément et le contrôle des adjuvants et la mise à jour d'une liste officielle.

En 1968, est créé le SYNAD (Syndicat National des Adjuvants) avec pour vocation de développer et faire connaître les adjuvants. Le développement des normes d'adjuvants à partir de 1972 a abouti en 1984 à la mise en place d'une certification avec la marque NF Adjuvants, véritable label de qualité. [38]

2.3. Définition

Les adjuvants sont des produits chimiques de plus en plus courants lors de la fabrication du béton. Ajoutés à faible dose lors de la préparation du béton (les adjuvants représentent moins de 5% de la masse du béton), ces produits améliorent certaines caractéristiques de ce matériau (l'étanchéité ou le temps de prise par exemple). Les différents types d'adjuvants qui existent vous permettront d'obtenir un béton avec les caractéristiques spécifiques que vous souhaitez lui donner. [39]

2.4. Fonctions

Les adjuvants possèdent une fonction principale et une ou plusieurs fonctions secondaires [40]

2.4.1. Fonction Principale

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale unique. Elle est caractérisée par la ou les modifications majeures qu'elle apporte aux propriétés du béton à l'état frais ou durci [40].

2.4.2. Fonctions Secondaires

En plus de sa fonction principale, un adjuvant peut avoir une ou plusieurs fonctions secondaires (ex: plastifiant - retardataire, retardataire - plastifiant - réducteur d'eau, etc.).

Un adjuvant n'est pas palliatif. Il n'a ni pour effet ni pour mission de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage, d'une mauvaise composition ou d'une mise en œuvre défectueuse [40].

2.5. Compatibilité ciment-adjuvant

Chaque ciment a son propre comportement vis-à-vis des adjuvants. Lors de la formulation d'un béton pour une application donnée, il convient de valider l'adéquation entre le ciment, les adjuvants et leurs dosages respectifs (étude compatibilité ciment-adjuvant) et d'optimiser le couple ciment-adjuvant. [38]

2.6. Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment

adjuvants	Dosage en %
Plastifiant	0.15 à 1.2
Super plastifiant	0.6 à 2.5
Accélérateur de prise	1 à 3
Accélérateur de durcissement	0.8 à 2
Retardateur de pris	0.2 à 0.8
Hydrofuges	0.5 à 2
Entraîneur d'air	0.05 à 3
Rétenteur d'eau	0.1 à 2

Tableau 02-1 Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment [38]

2.7. Classification Selon la Norme NF EN 934 - 2

Les Adjuvants pour béton, mortier et coulis sont classés selon 3 grandes catégories

- **Adjuvants modifiant l'ouvrabilité et la rhéologie du béton**
 - Plastifiant / Réducteur d'eau
 - Super plastifiant / Haut réducteur d'eau
- **Adjuvants modifiant la prise et le durcissement**
 - Accélérateur de prise
 - Accélérateur de durcissement
 - Retardateur de pris
- **Adjuvants modifiant des propriétés particuliers**
 - Entraîneur d'air
 - Hydrofuges de masse
 - Rétenteur d'eau [41]

2.7.1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité et la rhéologie du béton

2.7.1.1. Plastifiants /Réducteurs d'eau

2.7.1.1.1. Définition

Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton. Ils permettent aussi d'augmenter la plasticité du béton à teneur en eau constante et donc de faciliter sa mise en œuvre. [38]

2.7.1.1.2. Mode d'Emploi

Produits introduits dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : 0,15 à 0,4% selon le but recherché.

0,6 à 1,2% pour les «multi-dosages».

- ✓ Effets secondaires : dosage > à 0,4% : retard et / ou air entraîné. [41]

2.7.1.1.3. Mode d'Action

Ils provoquent une défloculation des grains de ciment. En effet, il existe à la surface des grains de ciment des forces d'attraction qui ont tendance à les faire s'agglomérer entre eux sous forme de flocons ou flocs et piéger une partie de l'eau du mélange. Ils dispersent les grains de ciment et libèrent l'eau piégée, ce qui génère un gain de fluidité. Ils augmentent la compacité du béton par réduction de l'eau de gâchage. Ils permettent aussi de réduire le risque de ségrégation des bétons.

Ces adjuvants peuvent être à base de lignosulfates, de sels d'acides organiques, de naphthalène (poly naphthalène sulfonaté)... [38]

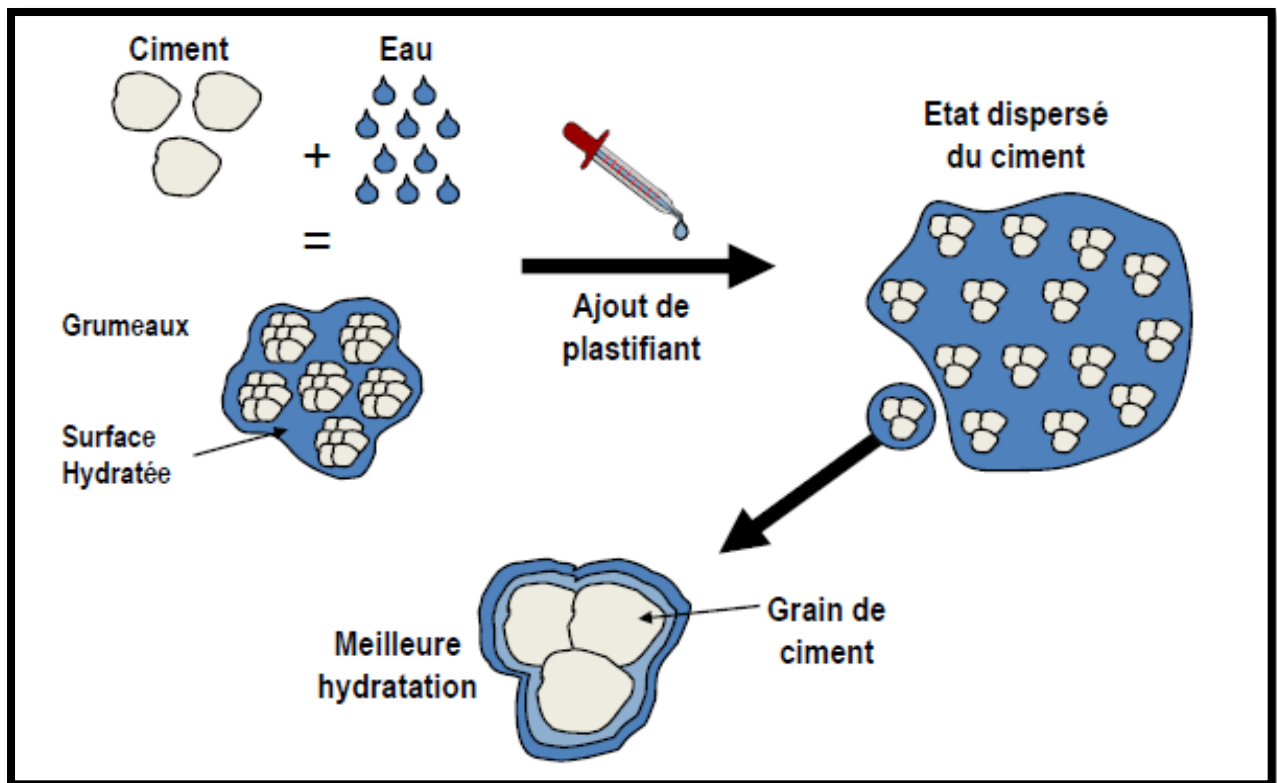


Figure 02-1 Mode d'Action du l'adjuvant Plastifiants /Réducteurs d'eau [41]

2.7.1.1.4. Effets sur le Béton frais

- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Maintien dans le temps.
- Diminution du ressuage
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.
- Réduction du retrait hydraulique. [41]

2.7.1.1.5. Effets sur le Béton durci

- Amélioration des performances mécaniques à court et à long terme.
- Diminution de la porosité.
- Augmentation de la durabilité
- Amélioration de la cohésion ciment/granulats.
- Amélioration de l'adhérence acier/béton [41]

2.7.1.1.6. Domaines d'Applications

- Tous les bétons courants jusqu'à 30 MPa (gris, blancs, colorés).
- Le béton prêt à l'emploi.
- Le béton de préfabrication légère (blocs, pavés, dalles, ...).
- Les bétons d'ouvrages d'art.

- Les bétons de voiries.
- Les bétons routiers.
- Les bétons de Génie Civil.
- Les bétons agricoles. [41]

2.7.1.2. Super plastifiants /Haut réducteurs d'eau

2.7.1.2.1. Définition

Ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange tout en conservant les performances mécaniques. Ils permettent aussi, sans modifier la consistance (ou maniabilité) du béton, de réduire fortement la teneur en eau de gâchage et donc le rapport E/C. Ils confèrent aux bétons des résistances mécaniques à court terme et à très long terme élevées. [38]

2.7.1.2.2. Mode d'emploi

Produits introduits soit dans l'eau de gâchage, soit en cours de malaxage.

Dosage indicatif : 0,6 à 5 % selon le but recherché. [41]

2.7.1.2.3. Mode d'action

Ils facilitent la réalisation des reprises de bétonnage. Ils conduisent à des bétons à compacité élevée grâce à la forte réduction d'eau, gage de durabilité. La montée en résistance rapide des bétons permet des décoffrages rapides. [38]

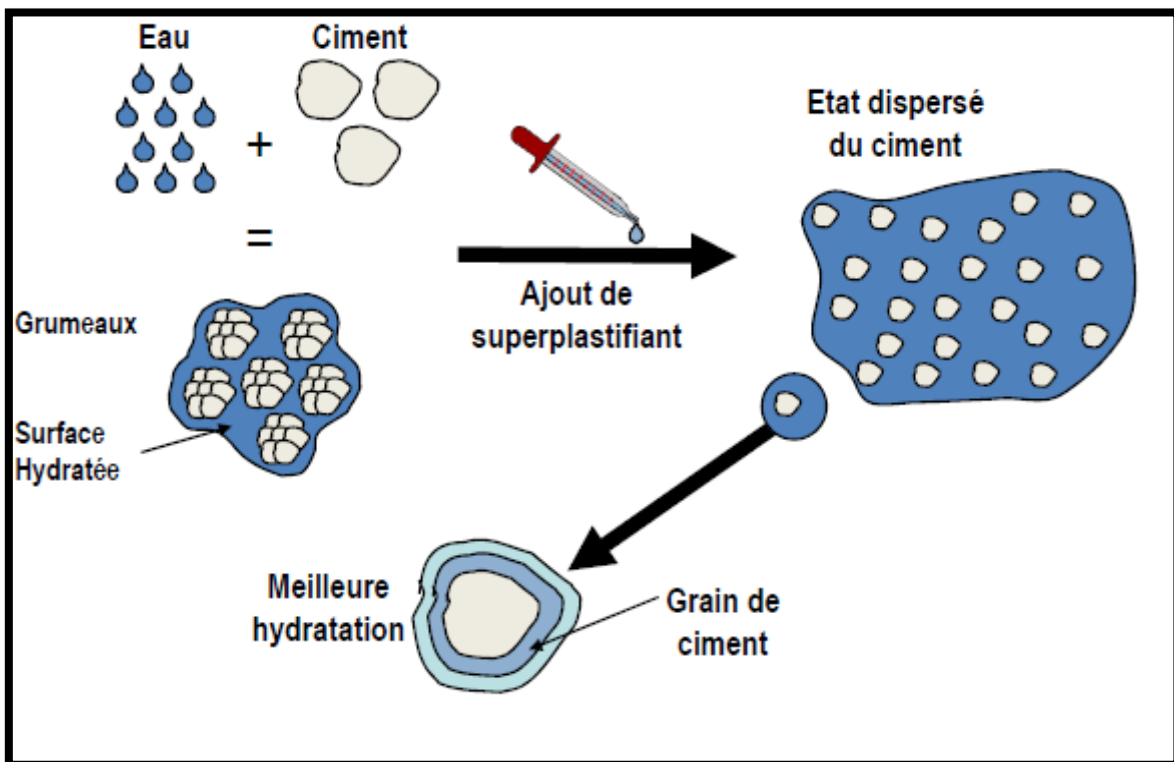


Figure 02-2 Mode d'Action du l'adjuvant Super plastifiants /Haut réducteurs d'eau [41]

2.7.1.2.4. Effets sur le béton frais

- Diminution de la teneur en eau.
- Amélioration de l'ouvrabilité
- Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 2h30 – 3h00 à 20°C).
- Diminution du ressuage.
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.
- Réduction du retrait hydraulique. [41]

2.7.1.2.5. Effets sur Béton durci

- Amélioration des résistances mécaniques à court et long terme.
- Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C et à l'augmentation du rapport Granulat/Ciment).
- Amélioration de la compacité.
- Amélioration de la liaison béton / acier.
- Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment.
- Diminution du coefficient de la perméabilité. [41]

2.7.1.2.6. Domaines d'applications

- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrailés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP et BUHP.
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques. [41]

2.7.2. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

2.7.2.1. Accélérateur de prise

2.7.2.1.1. Définition

Adjuvants qui diminuent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. [41]

2.7.2.1.2. Mode d'emploi

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : de 1 à 3 % du poids du ciment

- ✓ Possibilité de l'employer sur site après transport moyennant une homogénéisation soignée du béton. [41]

2.7.2.1.3. Mode d'action

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de prise du ciment. Il agit sur la prise en diminuant les potentiels électriques à la surface des grains, ce qui favorise la diffusion des ions et donc accélère le processus d'hydratation. Il permet d'augmenter la densité d'hydrates à un temps donné donc de diminuer le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. [38]

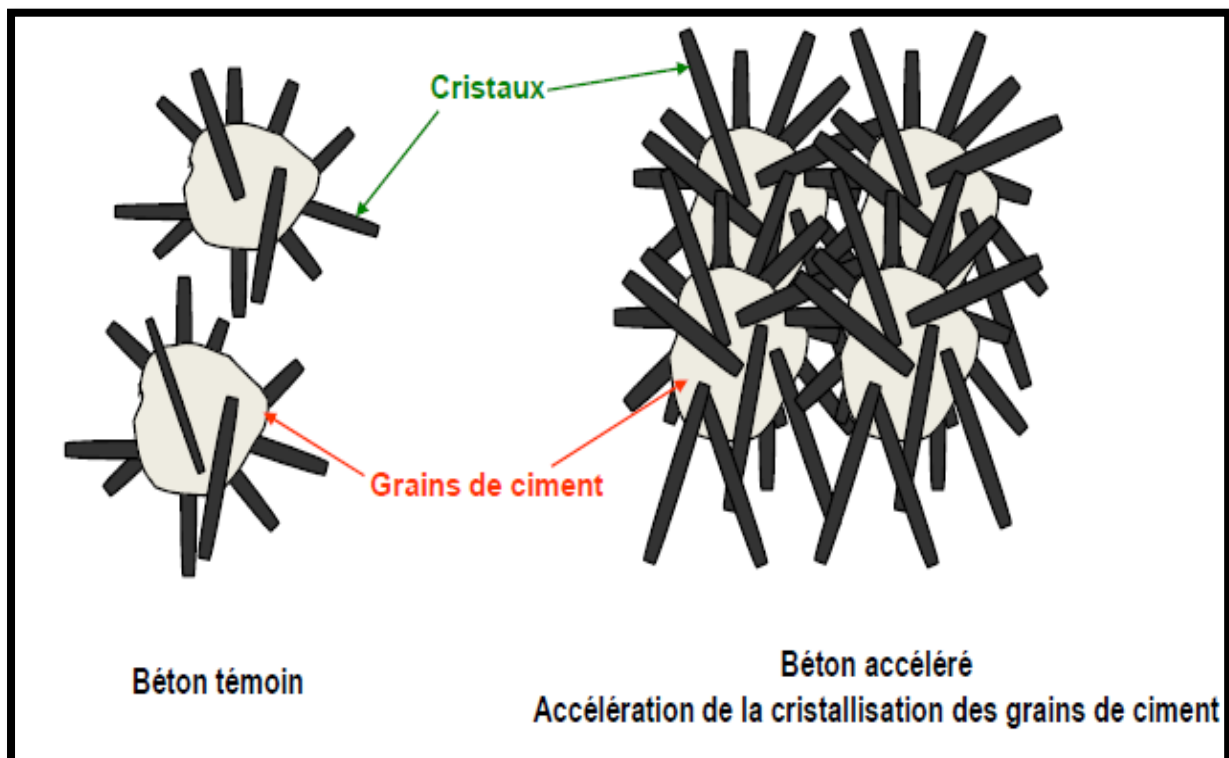


Figure 02-3 État de l'hydratation après 3 heures à 20 °C [41]

2.7.2.1.4. Effets sur le béton

- Accélération de la prise du béton.

- Amélioration des résistances à court terme.
- Augmentation de la chaleur d'hydratation. [41]

2.7.2.1.5. Domaines d'applications

- Le bétonnage par temps froid.
- Le béton manufacturé (préfabrication).
- Le béton prêt à l'emploi (augmentation des cadences de production sur chantier).
- Le béton à hautes résistances initiales.
- Le béton pour travaux en zones de marnage (cycle des marées). [41]

2.7.2.2. Accélérateur de durcissement

2.7.2.2.1. Définition

Adjuvants qui augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise. [41]

2.7.2.2.2. Mode d'emploi

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : de 0,8 à 2 % du poids du ciment [41]

2.7.2.2.3. Mode d'action

L'accélérateur du durcissement a pour fonction principale d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons, avec ou sans modification du temps de prise. Il permet de mettre les bétons rapidement hors gel. [38]

2.7.2.2.4 Effets sur le béton

- Accroissement de la vitesse de montée en résistance du béton.
- Amélioration des résistances à court terme. [41]

7.2.2.5. Domaines d'applications

- Tous les bétons nécessitant une résistance à court terme.
- Les bétons pour décoffrages rapides.
- Les bétons précontraints. [41]

2.7.2.3. Retardateur de prise

2.7.2.3.1. Définition

Adjuvants qui augmentent le temps depuis le début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils régulent le dégagement de chaleur due à l'hydratation du ciment. Le retard de prise favorise le transport du béton sur de longues distances et la reprise de bétonnage. La diminution de la chaleur d'hydratation favorise le bétonnage en grande masse. [41]

2.7.2.3.2. Mode d'emploi

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : de 0,2 à 0,5 % du poids du ciment. [41]

2.7.2.3.3. Mode d'action

Les retardateurs de prise ont pour fonction principale d'augmenter le temps de début de prise du ciment. Ils augmentent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils permettent aussi de réguler le dégagement de chaleur dû à l'hydratation du ciment.

En général, les retardateurs ralentissent la dissolution du ciment et la précipitation des hydrates et retardent ainsi la prise. Les retardateurs diminuent les résistances initiales mais ils augmentent souvent les résistances finales au-delà de 28 jours. [38]

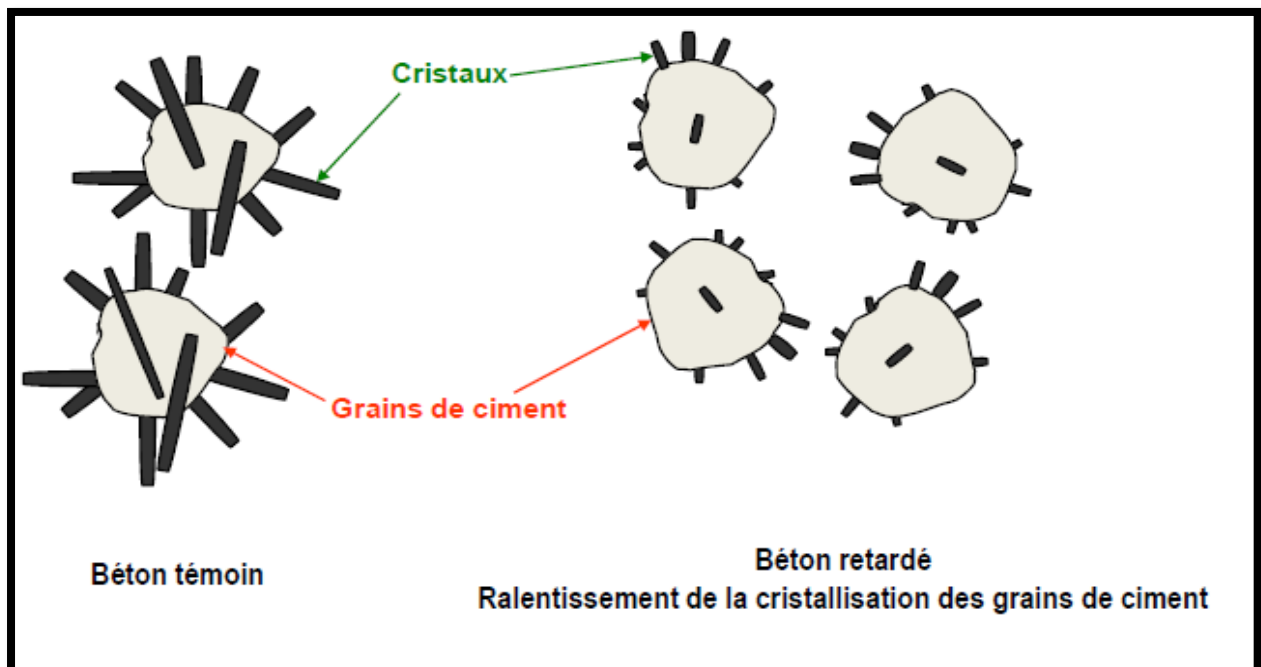


Figure 02-4 État de l'hydratation pendant 3 heures à 20 °C [41]

2.7.2.3.4. Effets sur le béton

- Augmentation du temps de début et fin de prise.
- Maintien de l'ouvrabilité du béton.
- Régulation de la chaleur d'hydratation.
- Amélioration des résistances à long terme. [41]

2.7.2.3.5. Domaine d'applications

- Le bétonnage par temps chaud.
- Le transport sur longues distances.
- Les bétons pompés
- Les bétons pour ouvrages de masse.
- Le coulage du béton en continu. [41]

2.7.3. Adjuvants modifiant des propriétés particuliers

2.7.3.1. Entraîneur d'air

2.7.3.1.1 Définition

Adjuvants qui permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraîné uniformément réparties et qui subsistent après durcissement. [41]

2.7.3.1.2. Mode d'emploi

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Possibilité de le verser sur le sable humide à l'entrée du malaxeur.

Dosage indicatif : de 0,05 à 0,2 % du poids du ciment.

- ✓ Pour les bétons devant résister aux cycles de gel / dégel, la teneur en air entraîné doit se situer entre 4 et 6 %.
- ✓ Leur utilisation doit être contrôlée régulièrement à l'aide d'un aéromètre et l'espacement entre les bulles doit être régulier et faible. [41]

2.7.3.1.3. Mode d'action

Les entraîneurs d'air ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, pendant le malaxage, de microbulles d'air (de diamètre inférieur à 100 microns) uniformément réparties dans la masse. Ces microbulles subsistent après durcissement.

Le béton durci contient naturellement une certaine quantité d'air provenant, soit d'un entraînement lors du malaxage, soit de l'évaporation de l'eau de gâchage non fixée. Cet air est réparti de manière aléatoire. En revanche, l'entraîneur d'air permet d'en entraîner un volume supérieur et de le répartir uniformément. La résistance au gel du béton durci ainsi que sa résistance aux sels de déverglaçage sont considérablement améliorées. Les microbulles qui coupent les réseaux capillaires limitent le développement des contraintes dues au gel de l'eau

interstitielle (en créant de petits vases d'expansion pour l'eau interstitielle). Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : lignosulfonates, abiétates de résines, sels d'éthanolamine. [38]

2.7.3.1.4. Effets sur le Béton

- Protection contre les cycles de gel/dégel, sel de déverglaçage.
- Les bulles d'air améliorent l'ouvrabilité.
- Diminution de la ségrégation (moins de ressuage)
- Mise en place facilitée.
- Amélioration de l'aspect du béton au décoffrage.
- Amélioration de la cohésion du béton. [41]

2.7.3.1.5. Domaines d'applications

- Les bétons d'ouvrages d'art exposés aux cycles gel/dégel (de préférence associés à un super plastifiant).
- Les bétons extrudés.
- Les bétons routiers.
- Les matériaux auto compactant (tranchées).
- Les bétons manufacturés exposés au gel (dalles, pavés). [42]

2.7.3.2. Hydrofuges de masse

2.7.3.2.1. Définition

Adjuvants qui permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques. [41]

2.7.3.2.2. Mode d'emploi

Produit introduit dans l'eau de gâchage.

Dosage indicatif : de 0,5 à 2 % du poids du ciment. [41]

2.7.3.2.3. Mode d'action

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons durcis. Il en résulte une faible porosité et donc une faible perméabilité du béton.

Ils se combinent à la chaux du ciment pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du béton ou du mortier. Cependant, il convient de se rappeler qu'ils ne peuvent pas rendre étanche un mauvais béton, mal composé, présentant des vides importants ou des hétérogénéités.

Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). [38]

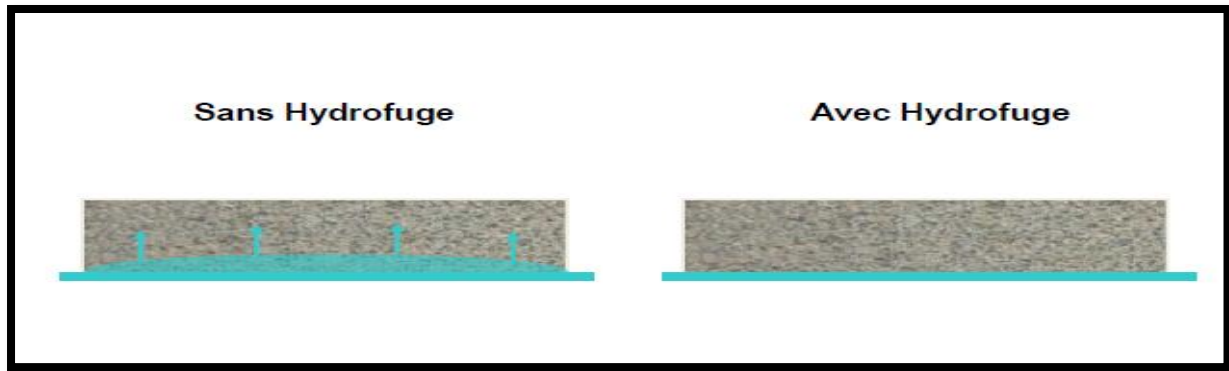


Figure 02-5 Résultats Observés [41]

2.7.3.2.4. Effets sur le Béton

- Obturation du réseau capillaire du béton.
- Limitation de la pénétration de l'eau.
- Augmentation de la durabilité. [41]

2.7.3.2.5. Domaines d'applications

- Les bétons de fondation.
- Les bétons de radier.
- Les bétons de réservoir.
- Les bétons manufacturés : bordures, pavés. [41]

2.7.3.3. Réteneur d'eau

2.7.3.3.1. Définition

Un réteneur d'eau est un adjuvant pour matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons de ciment. Il est utilisé pour réduire la tendance au ressuage de ces matériaux. Ceci augmente alors leur stabilité. [42]

2.7.3.3.2. Mode d'action

Les réteneurs d'eau ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau, de réduire la perte en eau et d'augmenter ainsi l'homogénéité et la stabilité du mélange. Ils diminuent la tendance au ressuage et les phénomènes de retrait. Ce sont des agents colloïdaux ou des dérivés de la cellulose. [38]

2.7.3.3.3. Effets sur le béton frais

- Diminution de ressuage et de la ségrégation.
- Réduction de la perte en eau.
- Cohésion du béton. [38]

2.7.3.3.4. Effets sur béton durci

- Limitation des risques de fissuration liée au retrait plastique.

- Meilleure hydratation du ciment.
- Amélioration des performances mécaniques à court et à long terme.
- Amélioration de la durabilité. [38]

2.7.3.3.5. Domaines d'applications

- Bétons horizontaux et ouvrages présentant une surface d'évaporation importante.
- Dallages industriels.
- Dalles décoratives.
- Ouvrage en grande masse.
- Coulage dans l'eau. [38]

2.8. Caractéristiques

2.8.1. Pour la formulation des bétons

- De respecter les exigences normatives tout en formulant des bétons très fluides qui se mettent en place facilement ;
- D'autoriser une baisse du rapport E/C et une réduction de la teneur en eau pour obtenir des bétons à très faible perméabilité ;
- De faciliter l'utilisation de tous types de ciments en particulier les ciments de type CEM II ou CEM III ;
- D'améliorer la robustesse des formules de béton lorsqu'elles sont soumises à des fluctuations des caractéristiques des constituants ;
- De formuler des bétons couvrant de larges gammes de résistances et de consistances et offrant une grande compatibilité avec de nombreux ciments ;
- De réduire la sensibilité des bétons aux aléas de chantier. [38]

2.8.2. Pour la mise en œuvre des bétons

- D'assurer une livraison de qualité sur les chantiers en évitant les pertes de rhéologie pendant le transport du béton et permettant au béton d'arriver sur le chantier avec la classe de consistance commandée ;
- De couler des bétons très fluides sans ségrégation et facilitant la mise en place dans les coffrages ;
- d'assurer une souplesse de livraison et d'utilisation sur les chantiers en garantissant un long maintien de rhéologie et de consistance, en maîtrisant les cinétiques de prise par temps chaud et par temps froid ;
- D'assurer la pompabilité des bétons sur de grandes longueurs et de grandes hauteurs
- De conserver la rhéologie des bétons pendant de longues périodes et par températures extrêmes, sans pénaliser les résistances mécaniques initiales ;
- D'offrir une stabilité optimale au béton, évitant des phénomènes de ressuage, tassement et ségrégation. [38]

2.8.3. Pour la durabilité des ouvrages

- De maîtriser la régularité des propriétés et des performances des bétons pendant toute leur durée de vie ;
- D'augmenter en particulier la compacité des bétons, offrant ainsi des ouvrages plus pérennes et plus résistants aux attaques et agressions au cours du temps. [38]

2.9. Conclusion

Les adjuvants, produits stratégiques pour la formulation des bétons, leur apportent une forte valeur ajoutée pour toutes leurs applications. Ils sont au service de la rhéologie des bétons frais et sont gage de qualité des bétons durcis et de durabilité des ouvrages.

Fabriquer du béton est une activité de proximité, dépendante de la géologie locale pour le choix des granulats, limitée pour le choix du ciment par le coût financier et environnemental du transport. C'est finalement l'adjuvant qui permettra de concilier tous ces critères physico-chimiques : dans la formulation, il permet de réguler les qualités diverses des constituants pour obtenir un matériau normalisé. Il n'y a pas de solution unique mais des milliers de solutions spécifiques.

Ainsi, tout en améliorant les résistances, l'adjuvant apporte aussi une régularité dans le béton : il le rend plus économique, plus répétable et plus écologique. [38]

**Chapitre 3 Les
différentes méthodes
de formulation**

3.1. Introduction

La formulation joue le rôle effectuant par ses paramètres propriétaires qui permettent d'apporter un nouveau regard sur béton, elle consiste à choisir des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en oeuvre. Plusieurs auteurs Bolomey (1925), Caquot (1937), Valette (1940), Faury (1942), Joisel (1952), cités dans la référence [Dreux et Festa, 1998] ont développé des méthodes de formulation de bétons. Selon le pays et l'école de pensée, les plus utilisés sont la méthode Américaine (1994), la méthode Britannique (1988), la méthode française [Dreux, 1970], la méthode Barron Lesage (France, 1976), la méthode basée sur le modèle d'empilement compressible (France, 2000), la méthode des plans d'expériences (Louvet F.) cité dans [Baron et Olliver, 1996]. [43]

3.2. Les méthodes de formulation du béton

Pour rendre fonctionnel ces méthodes, il est nécessaire de connaître :

- L'étendue granulaire des granulats ;
- Les propriétés physiques des constituants.

Les résultats des essais préliminaires sont les suivants :

- Analyse granulométriques du sable et du gravier
- Les masses volumiques absolues des composants

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

- ✓ La méthode Bolomey ;
- ✓ La méthode de Faury ;
- ✓ La méthode Dreux-Gorisse. [43]

3.2.1. Méthode de Dreux-Gorisse

3.2.1.1. Définition

Cette méthode a pour but de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition a peu près adapté au béton étude. Mais seule quelque gâchées d'essai et la confection d'éprouvette permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés. Toutes ces méthodes pratiques de calcul du mélange du béton reposent sur des règles empiriques dérivant des recherches expérimentales. Ces règles sont fondées des matériaux utilisés. [44]

3.2.1.2. Principe de la méthode

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, comptabilité, 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.

Reste à exécuter, bien entendu, quelques essais sur ce béton pour apporter à cette formule les corrections expérimentales nécessaires. [44]

3.2.1.2.1. Données de base

✓ Nature de l'ouvrage

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrailé. Il sera nécessaire de connaître l'épaisseur minimale et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferrillées : distance minimale entre elles et couvertures par rapport au coffrage. [44].

✓ Résistance souhaité

En général on demandera une résistance f_{c28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique, il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours : f_c supérieur à f_{c28} car : $f_{c28} = f_c - 0,8s$

Si l'on admet un coefficient de variation moyen de l'ordre de 20 %. On pourra adopter la règle approximative pour la résistance moyenne à viser : $f_{c28} = f_c + 15\%$ [44].

✓ Ouvrabilité désirée

Elle est fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massifs ou plus ou moins ferrillés), de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage etc... Elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône comme indiqué [44].

3.2.1.2.2. Dosage de ciment

On commencera par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée f_c .

$$f_c = G \cdot F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0.25 \right)$$

Avec : f_c : résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa.

F_{CE} : Classe vraie du ciment (à 28 jours) en MPa.

C : dosage en ciment (en kg/m³).

E : dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour 1 m³).

G : coefficient granulaire [44]

3.2.1.2.3. Dosage en eau

L'abaque de la (figure 3.1), donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône et du test d'ouvrabilité C.E.S. Il ne s'agit bien entendu que d'ordre de grandeur pour des bétons courants et permettant de dégrossir rapidement une formule de composition mais comme pour tous les facteurs de cette composition c'est par des essais sur des éprouvettes que les divers éléments constitutifs, et l'eau tout particulièrement, peuvent être définitivement dosée. [44]

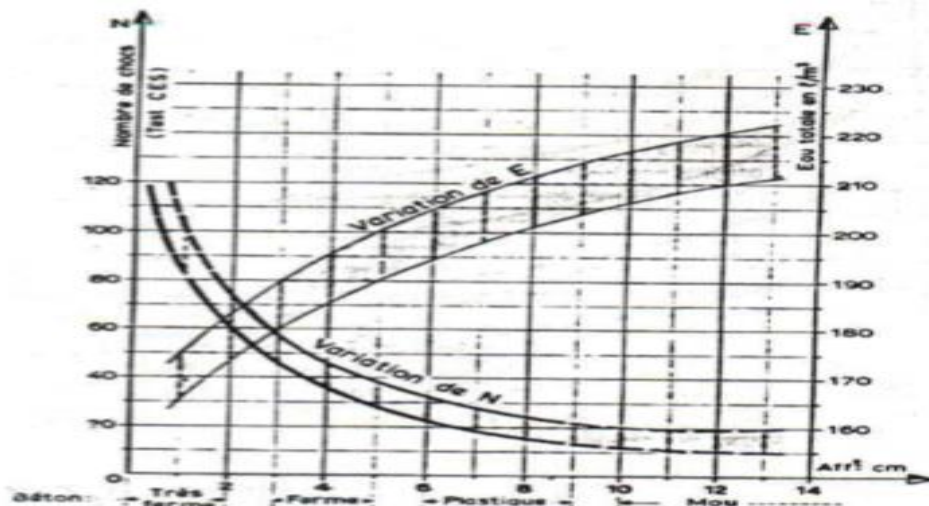


Figure 03-1 Variation relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S en fonction de l'affaissement dans le cas des bétons composés suivant la présente méthode (le dosage en sable augmente quand le dosage en ciment diminue) [44]

3.2.1.2.4. Analyses granulométriques

Des granulats Sur un graphique d'analyse granulométrique, on trace la courbe granulaire de référence AOB.

- Le point 0 est repéré par ses coordonnées : [0,01 ; 0]
- Le point B est repéré par ses coordonnées suivantes : [D ; 100], (D: le diamètre du plus gros granulats).
- Le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies:
 - ✓ En abscisse (à partir de la dimension D tamis)
- si $D < 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$
- si $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du « Segment gravier » limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.
 - ✓ En ordonné

$$Y=50 -\sqrt{D+K+Ks+Kp}$$

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage de ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassé (et c'est surtout le sable dont l'influence est ici prépondérante) et également du module de finesse du sable. [43]

3.2.1.2.5. Dosage des granulats

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur la même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1 , g_2 et g_3 , par exemple si C'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est : $V_c = \frac{C}{3.1}$ (en admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment ,valeur moyenne habituellement admise).

On choisira une valeur convenable du coefficient de compacité γ en fonction de D, de la consistance et de l'efficacité du serrage.

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est : $V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite :

$$V_1 \geq g_1 V_G$$

$$V_2 \geq g_2 V_G$$

$$V_3 \geq g_3 V_G$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont $\omega_1, 2$ et ω_3 les masses de chacun deux sont : $P_1 = V_1 \omega_1$

$$P_2 = V_2 \omega_2$$

$$\text{Masse totale des granulats : } \frac{P_3 = V_3 \omega_3}{G = (p_1 + p_2 + p_3)} \quad [43]$$

3.2.1.2.6. Dosage en adjuvant

Selon la propriété recherchée pour le béton, on aura recours à l'adjuvant approprié : accélérateur de prise, plastifiant, entraîneur d'air, etc.). Compte tenu de la diversité des produits disponibles, on se conformera aux prescriptions du fabricant pour leur emploi et leur dosage, et vérifiera leur compatibilité avec le ciment. [43]

3.2.2. Méthodes de Bolomey

3.2.2.1. Définition

La méthode de Bolomey a les mérites d'avoir ouvert la voie aux études de béton. Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 kg/m³ ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants. [45]

3.2.2.2. Principe

- Déterminer la courbe optimale du mélange des éléments secs.
- Chercher les pourcentages de ces constituants permettant de réaliser un mélange sec de la sorte que la courbe soit aussi voisine que possible de la courbe optimale.
- Déduire la composition d'un mètre cube de béton. [43]

3.2.2.3. Courbe optimale

Axes

- **Abscisses** : diamètres des tamis, gradués proportionnellement à \sqrt{d} (segments proportionnels aux racines carrées des dimensions des tamis correspondants).
- **Ordonnées** : Pourcentage du tamisât [43]

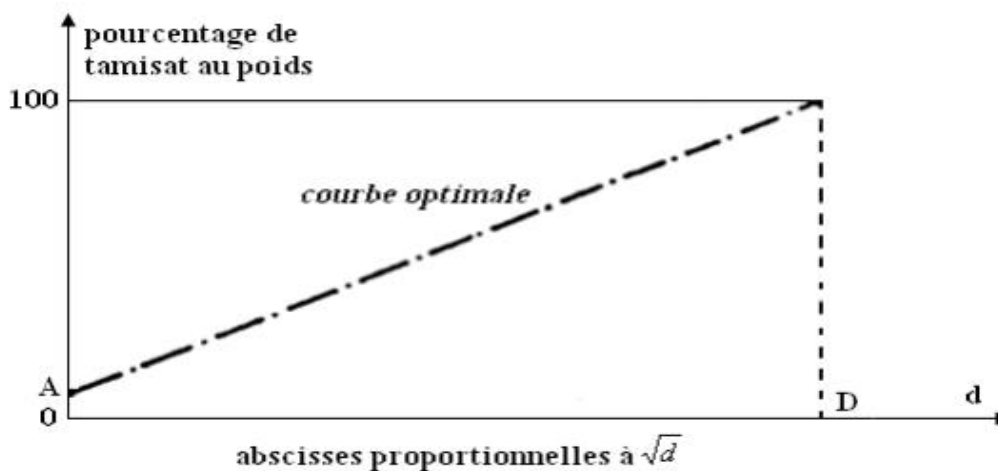


Figure 03-2 courbe optimale du mélange selon Bolomey [43]

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 est aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. La formule de base est la suivante : [43]

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

Avec :

Les différents méthodes de formulation

P : pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d,

D : diamètre du plus gros grain,

Cette équation est de la forme $y = ax + b$, eu égard au mode de graduation de l'axe des abscisses, elle représente la droite qui passe par les points :

$$d = 0 \quad d = D$$

$$P = A \quad P = 100$$

Il suffit donc de déterminer A et D [43]

Valeurs de A

(A) est un point d'une courbe granulométrique qui représente le pourcentage des éléments très fin contenus dans le mélange sec, éléments qui ont une incidence sur la maniabilité du béton.

La valeur (A) dépendra donc de :

- La consistance souhaitée pour le béton ;
- La provenance des granulats. [43]

Le tableau résume les valeurs de A.

Consistance de béton	Granulats roulés	Granulats concassés
Sec (béton vibré)	6 à 8	8 à 14
Plastique (non vibré)	10	12 à 14
Mou (béton coulé)	12	14 à 16

Tableau 03-1 Valeurs de (A) selon Bolomey [43]

3.2.2.4. Détermination de la quantité d'eau selon Bolomey

La quantité d'eau nécessaire à introduire doit assurer : d'une part l'hydratation complète du ciment et d'autre part permettre une mise en œuvre convenable du béton dans les moules.

Cette quantité d'eau dépend donc dans une large mesure la technique de mise en œuvre retenue. Ainsi un béton pompé nécessitera d'avantage d'eau qu'un même béton placé par vibration. A l'heure actuelle on ne dispose pas encore de théorie capable de prédire avec exactitude la quantité d'eau nécessaire pour un béton donné, et les essais de convenances seront toujours nécessaires, cependant des formules empiriques permettent de donner un ordre de grandeur de

Les différents méthodes de formulation

la quantité d'eau, avec précision suffisante pour les études courantes. Bolomey propose des expressions en fonction de la taille des granulats, la quantité d'eau nécessaire pour mouiller le mélange diffère.

Ainsi :

Pour les éléments très fins ($D < 0,16$ mm) : la quantité d'eau à prévoir est :

$$\text{Eau} = 0,23P$$

Pour les gros éléments ($D \geq 0,16$ mm) : la quantité d'eau à prévoir est :

$$\text{Eau} = \frac{k.p}{1.17 \sqrt[3]{d1 \times d2}}$$

Avec :

P : masse des matériaux à mouiller

d1 : diamètre de plus petits granulats à mouiller

d2 : diamètre de plus gros granulats à mouiller

K : coefficient dont les valeurs sont présentées dans le tableau suivant [43]

Consistance du béton	Granulats roulés	Granulats concassés
Sec (béton vibré)	0,08	0,095
Plastique (non vibré)	0,09 à 0,095	0,10 à 0,11
Mou (béton coulé)	0,10 à 0,11	0,12 à 0,13

Tableau 03-2 les valeurs du coefficient K selon Bolomey [43]

La quantité d'eau globale à prévoir sera évidemment la somme des deux termes, soit :

$$\text{Eau} = 0,23P (D < 0,16 \text{ mm}) + \frac{k.p}{1.17 \sqrt[3]{d1 \times d2}} (D \geq 0,16 \text{ mm}) [43]$$

3.2.2.5. Limite et emploi de la méthode de Bolomey

La méthode de Bolomey a le mérite d'avoir ouvert la voie aux études de béton.

Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2.5 et 2.7g/cm³ ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants.

La méthode de Bolomey donne des bétons riches en éléments fins, donc maniables, et susceptibles de rester bruts lors du décoffrage. On l'emploiera lorsque ces qualités sont recherchées, la résistance mécanique doit être bonne. Son emploi est fréquent pour les travaux routiers, et pour les bétons qui doivent être mis en place par pompage. [43]

3.2.3. Méthode de faury

3.2.3.1. Définition

Cette méthode est venue en 1941 compléter la méthode la méthode de Bolomey. La méthode de faury donne des bétons comportant moins de sable et plus de gravier. Ces bétons sont plus raides et conviendront à des travaux pour lesquels une très bonne maniabilité n'est pas

indispensable. Les bétons faury auront souvent une résistance mécanique supérieure aux bétons Bolomey correspondants. [43]

3.2.3.2. Principe de la méthode

Le même que celui de la méthode de Bolomey qui consiste à déterminer la courbe optimale du mélange des éléments secs, et de chercher à s'en rapprocher le plus possible [43]

3.2.3.3. Particularités de la méthode

- application à tous les granulats, quelle qu'en soit la masse volumique.
- faury a étudié l'effet des vides, vides qui varient avec $\sqrt[5]{D}$.
- pour tenir compte de l'effet du coffrage et des armatures, faury introduit la notion d'effet de paroi et du rayon moyen du moule

$$Ep = \frac{D}{R} \quad R = \frac{\text{Vol du béton (acier déduits)}}{\text{suf de tout ce qui est en contact du béton}} \quad [43]$$

(coffrage=aciers)

3.2.3.4. Tracé de la courbe optimale

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 $\sqrt[5]{D}$ [43].

Axes

Abscisses: dimensions des tamis proportionnelles à racine cinquième de D ($\sqrt[5]{D}$).

Ordonnées: pourcentages de tamisât, en fonction des masses volumiques absolues

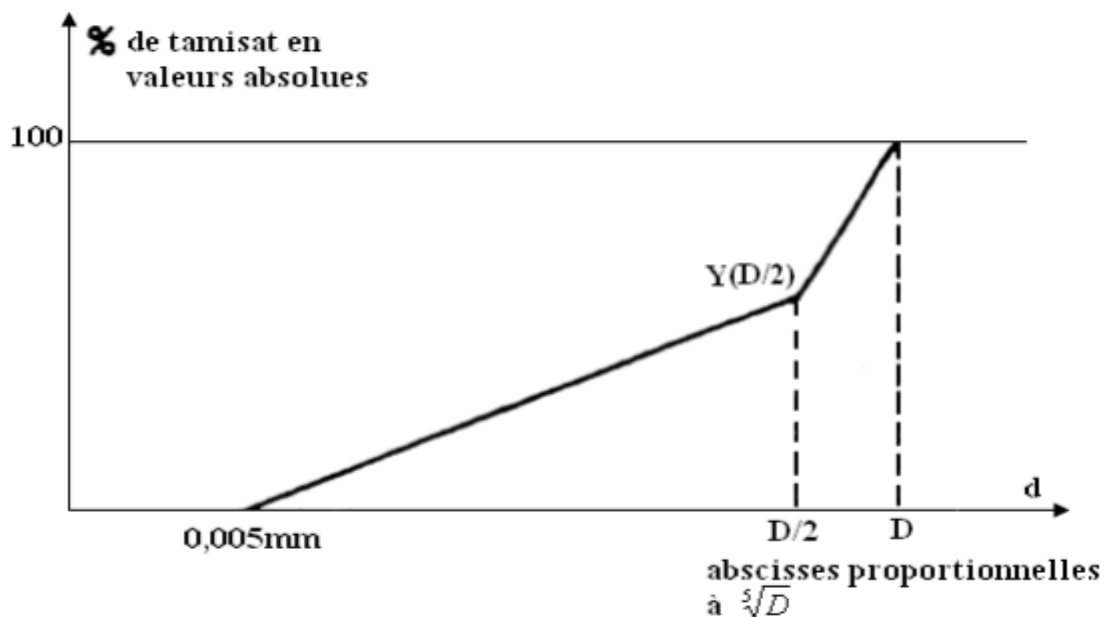


Figure 03-3 Courbe optimale du mélange selon Faury [43]

Donc la courbe ce n'est plus un segment de droite, mais deux segments de droites, formant une ligne brisée.

IL faut donc définir:

- L'origine
- L'extrémité
- Le point de brisure.

L'origine est le point de l'axe des abscisses correspondant au tamis de 0.005 mm.

L'extrémité est le point d'abscisse D et d'ordonnée 100. D ayant la même signification que pour la méthode de Bolomey.

Le point de brisure a pour abscisse D/2 et pour ordonnée Y (D/2) donnée par la formule

Suivante : [43]

$$y = A + 17 \cdot \sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{1.25D} - 0.75}$$

Avec :

A = Constante, traduisant la maniabilité du béton.

B = Constante, traduisant l'importance du serrage du béton.

D = Plus grande dimension de tamis, il est donc nécessaire de connaître la valeur numérique de D.

R = Rayon moyen du moule.

$\frac{R}{D}$ = L'inverse de l'effet de paroi. [43]

Valeur de A

Faury a distingué les bétons, suivant la grosseur des plus gros grains, avec coupures à 25 et 50mm (dimensions des tamis). Une valeur spéciale de A est attribuée au béton de piste, dont les conditions de travail recherchent des caractéristiques particulières (voir tableau 3.3). [43]

Valeur de B

La valeur de B varie en fonction des conditions techniques, elle est égale à 1 dans le cas d'un serrage particulièrement énergétique et à 1.5 dans tous les autres cas. [43]

3.2.3.5. Emploi de la méthode de Faury

Cette méthode est venue en 1941 compléter la méthode de Bolomey, Mais elle ne l'a pas supplantée. La méthode de Faury donne des bétons comportant moins de sable et davantage de gravier que la méthode de Bolomey. Ces bétons Faury seront donc plus raides, et conviendront à des travaux pour lesquels une très bonne maniabilité n'est pas indispensable. Les bétons Faury auront une résistance mécanique supérieure aux bétons Bolomey correspondants [43].

Moyens Mise en oeuvre	Matériaux utilisés		
	Sable roulé Gravier roulé	Sable roulé Gravier concassé	Sable concassé Gravier concassé
Piquage damage	28	30	32
Vibration moyenne	24 à 25	27 à 28	28 à 29
Vibration poussée	23 à 24	23 à 24	23 à 24
Vibration puissante	19 à 20	19 à 21	19 à 22

Tableau 03-3 Valeurs du coefficient A selon Faury [43]

3.2.3.6. Détermination de la quantité d'eau selon Faury

La quantité d'eau est donnée par la formule suivante :

$$I = \frac{K}{\sqrt[5]{D_{max}}}, \text{ les valeurs de K sont données par le tableau (3.4) : [43]}$$

Moyens Mise en oeuvre	Matériaux utilisés		
	Sable roulé Gravier roulé	Sable roulé Gravier concassé	Sable concassé Gravier concassé
Piquage damage	0.345	0.345	0.350

Les différents méthodes de formulation

Vibration moyenne	0.265 à 0.285	0.285 à 0.350	0.300 à 0.335
Vibration poussée	0.255 à 0.280	0.260 à 0.285	0.265 à 0.295
Vibration puissante	0.245 à 0.246	0.250 à 0.280	0.255 à 0.295

Tableau 03-4 Valeurs du coefficient K selon Faury [43]

3.2.4. Méthode de Vallette

Vallette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale. Mais qui nécessite cependant un certain nombre de calcul préparatoire dans les cas les plus courants, on partira en général de deux granulats (béton binaire) : un sable 0/5 mm et un graviers présentant le plus souvent une certaine discontinuité avec le sable. On calcul d'abord le dosage de sable et ciment devant donner en principe le mortier plein à minimum de ciment, ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et ou calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égale 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. [45]

3.2.5. Méthode Joisel

S'inspirant comme Faury de la théorie de Caquot mais en généralisant, A.Joisel propose de considérer que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est, fonction de $m\sqrt{d}$, dépendant de la compacité avec laquelle se serre un granulat de dimension uniforme selon les moyens de serrage, m peut alors varier de 3 à 10. Comme dans la théorie de Faury, on a aboutit donc en principe à une granularité continue sauf, bien entendu, si les granulats dont on dispose en pratique présentent une discontinuité. Comme pour les méthodes de Faury et Valette, le dosage en ciment déterminé par cette méthode est le dosage minimal correspondant théoriquement sur le plan granulométrique, à la compacité maximale, ce dosage est en général nettement inférieur (150 à 200 Kg/m³) au dosage nécessaire ou exigé (250 à 400 Kg/m³ dans la plus part des cas). Une correction doit être apportée dans ce sens. [45]

3.2.6. Méthode d'abrams

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse globale pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Le module de finesse du mélange est choisi de telle manière que les vides dans ce mélange soient, en principe, réduits au minimum.

Les différents méthodes de formulation

Les modules optimaux pour béton de granulats roulés sont déterminés expérimentalement par Abrams, sont indiqués dans des valeurs tableau (1.2) en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du plus gros granulat le plus gros. [45]

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 03-5 Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions [45]

La règle du mélange d'Abrams permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de module de finesse MF1 et Mf2 choisi pour obtenir un module de finesse MF choisi pour le mélange. [45].

3.3. Conclusion

Il existe plusieurs méthodes de formulation du béton donc doit être choisie la bonne méthode afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (caractéristiques mécaniques, La durabilité de l'ouvrage...)

Chapitre 4

L'effet des méthodes de la formulation et des adjuvants sur la résistance du béton

L'effet des méthodes de la formulation et des adjuvants sur la résistance du béton

4.1. Introduction

Ce chapitre traite de la partie théorique de l'étude expérimentale que nous n'avons pas pu mener en raison des circonstances du pays (Covid 19).

- L'objectif du chapitre c'est l'étude de l'effet des méthodes de la formulation et des adjuvants sur la résistance du béton

4.2. Plan de travail

Nous allons préparer une quantité du béton (mélange de : sable: 0.3, gravier: 3-8/8-15, ciment et l'eau)

Ensuite nous divisons le mélange en trois :

- 1ère mélange: on ajoute l'adjuvant "hydrofuge sika"
- 2ème mélange : on ajoute l'adjuvant "silikaplast BV 40 +"
- 3ème mélange: reste un béton ordinaire

Chaque partie de ce mélange est divisée en 3 éprouvettes :

La 1ère éprouvette est écrasée après 7 jours

La 2ème après 14 jours et la dernière après 28 jours

4.2.1. Adjuvant (Hydrofuges de masse)

L'Hydrofuge sika liquide est un hydrofuge de masse pour béton, il se combine à la chaux du ciment pour donner un béton étanche à l'eau /sans chlore. / Sans effet appréciable sur la prise et les résistances mécaniques des bétons.

Caractéristique	forme	couleur	Densité
Résultat	Liquide	blanche	1,02±0,01

Tableau 04-1 Quelques caractéristiques de L'Hydrofuge sika

4.2.2. Adjuvant (Super plastifiant)

SIKAPLAST BV40+ qui est un super plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de poly carboxylates modifiés

L'effet des méthodes de la formulation et des adjuvants sur la résistance du béton

Caractéristique	forme	couleur	Densité	PH
Résultat	liquide	Marron	1,04±0,015	4,7±1

Tableau 4-2 Quelques caractéristiques de SIKAPLAST BV+40

4.3. L'effet des méthodes de la formulation sur la résistance du béton

- on a Basé sur des études expérimentales précédentes

- ✓ On présente les Résultats de l'étude expérimentale de l'étudiantes MOSBAHI Lamia et SOLTANI Khadidja Présenté Pour l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Civil spécialité Structures à Université Larbi tebessi – Tébessa-; année universitaire 2017-2018

On remarque

- le béton formulé par la méthode de Bolomey donne une résistance plus grande que celles données par les autres formulations.
- la méthode de Faury donne une résistance à la compression à 28 jours plus grande que celle de Dreux-Gorisse. [45]
- ✓ On présente les Résultats de l'étude expérimentale de l'étudiant BENAMRANE Dounia Zed Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Spécialité: Génie Civil Option : C.C.I à Université KASDI Merbah Ouargla ; année universitaire : 2016/2017

On remarque

- Il Ya pas une grande différence entre les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Dreux-Gorisse qui est de l'ordre de 10% de diminution par rapport à la méthode de Faury. [46]

4.4. L'effet des adjuvants sur la résistance du béton

4.4.1. Les entraîneurs d'air

On opte couramment à l'utilisation des entraîneurs d'air Le rôle des agents entraîneurs d'air est de faciliter la formation des bulles en réduisant la tension de surface de l'eau et en stabilisant les bulles d'air formées durant le malaxage Cet adjuvant est recommandé d'après son fabricant pour l'amélioration de la maniabilité, la diminution de la capillarité et de la perméabilité et l'augmentation de la résistance mécanique du béton. [47]

L'effet des méthodes de la formulation et des adjuvants sur la résistance du béton

4.4.2. Les Super plastifiants

Les super plastifiants sont des réducteurs d'eau adjuvants à haut pouvoir de réduction d'eau ils permettent de réaliser des bétons à compacité élevée, permettant des gains de performance très importants en terme de résistances mécaniques initiales et finales élevées; diminution de la porosité et accroissement de la durabilité. [47]

4.4.3. Les retardateurs de prise

Un retardateur de prise est un adjuvant pour matériaux cimentaires, Il est utilisé pour ralentir la réaction d'hydratation du ciment et donc sa prise. Ceci permet d'augmenter son temps de travail. L'utilisation des retardateurs de prise dans les matériaux cimentaires peut améliorer son imperméabilité et sa résistance à la compression [47]

4.4.4. Les accélérateurs de durcissement

Les accélérateurs de durcissement est un adjuvant qui augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton. [47]

4.4.5. Plastifiants-réducteurs d'eau

Les plastifiants permettent de modifier la consistance, de réduire la teneur en eau du béton donné (Réducteur d'eau)ils permettent d'augmenter la compacité du béton entraînant une amélioration des résistances et l'augmentation de sa durabilité. [47]

4.4.6. Hydrofuge de masse

Les hydrofuges de masse permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques. Ils permettent de réduire la perméabilité et l'absorption capillaire du béton [48]

4.4.7. Accélérateurs de prise

Les accélérateurs de prise permettent de diminuer le temps de début de prise du béton. Ils permettent amélioration des résistances à court terme [47]

4.4.8. Rétenteurs d'eau

Les rétenteurs d'eau ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau, de réduire la perte en eau et d'augmenter ainsi l'homogénéité et la stabilité du mélange. Ils diminuent la tendance au ressuage et les phénomènes de retrait ils permettent limitation des risques de fissuration liée au retrait plastique et amélioration des performances mécaniques à court et à long terme, amélioration de la durabilité [48]

4.5. Conclusion

- La méthode de Bolomey donne de meilleurs résultats vis-à-vis de la résistance à la compression par rapport à ceux des autres méthodes
- On a considéré la résistance à la compression du béton comme étant la propriété la plus importante mais cette résistance sera légèrement différente avec l'emploi des adjuvants.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Après l'étude on peut énoncer les conclusions suivantes :

- les méthodes de la formulation ont un effet sur la résistance du béton Cela diffèrent d'une méthode à l'autre
- le béton formulé par la méthode de Bolomey donne une résistance plus grande que celles donnée par les autres formulations.
- l'ajoute des adjuvants sur le béton ont effectué sur la résistance
- l'effet d'adjuvant est diffèrent d'un type à l'autre
- La plupart des adjuvants augmente de la résistance du béton
- l'importance du dosage de l'ajoute des adjuvants (Chaque adjuvant a un dosage spécifique au béton)

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Référence bibliographique

- [1] Dr. A.MERDAS. Cours de matériaux de construction II. Chapitre 1. LES BÉTONS. Sétif : université Sétif 1.p.2.
- [2] G. e. F. ... Dreux, Nouveau guide du béton et de ses constituants, EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007.
- [3] Dr. Ir. P. Boeraeve . Cours de Béton armé Chapitre 1. Composition du béton *Technologie du béton, Edition 1994, Groupement Belge du Béton .p.1.
- [4] S. MOHAMADI .Cours de matériaux et ouvrages de Génie Civil. Chapitre 1. LE BETON ET SES CONSTITUANTS. 2013-2014.p.2.
- [5] B. SAFI. Cours Procédés et Mise en forme des Matériaux: bétons *TECHNOLOGIE DES BÉTONS.p.9.
- [6] Cours de MDS .Les granulats .Sétif : université Farhate Abes.p.1.
- [7] A. M. NEVILLE, PROPRIETES DES BETONS, Eyrolles , 2000.
- [8] KATTAB.R, valorisation de sable de dune. Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.
- [9] Holcim. Guide pratique du béton : concevoir et mettre en œuvre des bétons durables. Suisse.2009. Disponible sur : www.holcim.ch/fileadmin/templates/CH/doc/.../Guide_pratique_f.pdf.
- [10] B. SAFI. Cours Procédés et Mise en forme des Matériaux: bétons *TECHNOLOGIE DES BÉTONS.p.13.
- [11] ABDI.B, «La durabilité des bétons Autoplaçant destinés à la réparation des infrastructures». Mémoire de maîtrisées science appliquées. Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 2005.
- [12] M. QUENEUDEC, GUILLOREL, J. Mise au point d'un matériel et d'un matériau pour la fabrication de blocs de bauge mécanisée. Dépôt INPI, Rennes 1989.
- [13] Bruno Caillard, Guide MACONNERIE : Part. 1 : Généralités Matériaux et matériel Les bétons, Le béton ordinaire. mercredi 10 mai 2017, Disponible sur : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel-materiaux/beton/standard>
- [14] RACHIL.L, DENDANI.M, «Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire». Mémoire de master. Université De M'hamed Bougara -Boumerdes, 2016.
- [15] Baron.J et Sauterey.R, 1982 .Le béton hydraulique Connaissances et Pratique, Presses de l'école des ponts et chaussées, sous la direction de Jacques Baron et Raymond Sauterey

Références bibliographiques

- [16] Assié S., « DURABILITE DES BETONS AUTOPLAÇANT », thèse de Doctorat INSAUPS de Toulouse, N° d'ordre : 747, soutenue le 29 Octobre 2004
- [17] Hayakawa M., Matsuoka Y. and YOKOTA K., “Application of super workable concrete in the construction of 70-story building in Japan”, Second CANMET/ACI on advances in concrete technology, Las Vegas, ACI 154-20, pp. 381-397, 1995.
- [18] Nagataki S. and Fujiwara H., “Self compacting property of highly flowable concrete”, Second CANMET/ACI on advances in concrete technology, Las Vegas, ACI 154-20, pp. 301-314, 1995.
- [19] Petersson Ö., Billberg P. and Van B.K., “A model for Self-Compacting Concrete”, International Rilem Conference on „Production methods and workability of concrete“, RILEM Proceedings 32, 1996.
- [20] guide béton : Les différents types de béton :Le béton auto plaçant , Disponible sur : www.guidebeton.com/differents-types-beton
- [21] M. QUENEUDEC, GUILLOREL, J. Mise au point d'un matériel et d'un matériau pour la fabrication de blocs de bauge mécanisée. Dépôt INPI, Rennes 1989.
- [22] Chanvillard. G, 1999. Connaissances générale sur le matériau béton, Ed. Aléas
- [10]M. QUENEUDEC, GUILLOREL, J. Mise au point d'un matériel et d'un matériau pour la fabrication de blocs de bauge mécanisée. Dépôt INPI, Rennes 1989.
- [23] betons spéciaux : Bétons hautes performances (BHP), disponible sur : <http://betonspeciaux.e-monsite.com/pages/les-betons/betons-hautes-performances-bhp.html>
- [24] TRAVAUX BETON : Le béton haute performance, disponible sur : <https://travauxbeton.fr/beton-haute-performance/>
- [25] guide béton : Les différents types de béton :Le béton fibré , Disponible sur : <http://www.guidebeton.com/beton-fibre>
- [26] Poitrat.E ,2004: Biocarburants, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, BE 8550.
- [27] guide béton : Les différents types de béton : Le béton léger , Disponible sur : <http://www.guidebeton.com/beton-leger>
- [28] IdEE MAG : Béton léger : Caractéristiques, avantages/inconvénients et prix, Disponible sur : <http://www.ideemag.com/beton-leger-caracteristiques-avantages-inconvenients-et-prix/>

Références bibliographiques

[29] Bruno Caillard, Guide MACONNERIE : Part. 1 : Généralités Matériaux et matériel Les bétons Les bétons lourds. mardi 11 avril 2017, Disponible sur :

<https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel-materiaux/beton/lourd>

[30] maison.ooreka : Matériaux de construction : bétons lourds, utilisations du béton lourd, Disponible sur :

<https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/729309/betons-lourds>

[31] CIM béton ,2000.Le ciment et ses applications, Fiches techniques.

[32] Guide béton : les différents types de béton : le béton armé, disponible sur :
<http://www.guidebeton.com/differents-types-beton>

[33] S-Laldji, hiver 2015. « Les matériaux de béton armé », cour Ets

[34] les matériaux de béton armé, p 1-16, disponible sur : gerald.hivin@ujf-grenoble.fr

[35] bonne structure, avantage de béton armé disponible sur :

<https://bonestructure.ca/fr/articles-fr/quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients-des-diverses-methodes-de-construction/>

[36] Jean-Michel TORRENTI, universalise. Fr : le béton, disponible sur :

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/beton/7-utilisation-du-beton-dans-les-structures/#:~:text=Utilisation%20du%20b%C3%A9ton%20dans%20les%20structures,'ouvrages%20de%20fondation...>

[37] future maison : le béton préfabriqué, disponible sur :

<https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/batiment-beton-5834/>

[38] info ciments : bétons : adjuvants disponible sur :

<https://www.infociments.fr/betons/adjuvants>

[39] Guide béton : Les adjuvants du béton, disponible sur :

<http://www.guidebeton.com/adjuvants-beton>

[40] Maanser A.E : Etude de l'effet des adjuvants sur les propriétés des mortiers, Mémoire de magister, Guelma, 2012.

[41] Mr: Youssef OUHAMI : les adjuvants du béton d F.S.T de Settat –Licence Professionnelle - Option : Génie Civil - 2011 / 2012, p4-43

[42] Georges Dreux, Jean Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Eyrolles, 1998 (8e édition).

[43] GHOMARI Fouad : matériaux de construction, université BOUBAKER BLKAID,

Références bibliographiques

2011-2012, p1-39.

[44] MOSBAHI Lamia, SOLTANI Khadija, «Les différentes méthodes usuelles de formulation du béton ordinaire Etude comparative », Université Larbi tébessi – Tébessa –, 2017/2018, p14-75

[45]Jean, Festa ; Georges, Dreux. Nouveau guide bu béton et des ses constituants.Eyrolles.2002

[46] BENAMRANE Dounia Zed, «L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton», Université KASDI Merbah Ouargla, 2016-2017, p39

[47] synad : Adjuvants pour Béton, disponible sur :

<http://www.synad.fr/Adjuvants-beton-Superplastifiants-Plastifiants-Accelerateurs-Retardateurs-Entraineurs-d-air>

[48] Mustapha Zdiri, Mongi Ben Ouezdou, « Effets des adjuvants sur les Bétons Compactés au Rouleau pour pavages: cas des matériaux de gisements locaux », Conference: 2ème Colloque de Recherche Appliquée et de Transfert de Technologie CRATT2007, Radès, Tunisie, 2007