

Département des Sciences de la Terre

Licence Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Mémoire de projet de fin d'étude

La formulation du béton prêt à l'emploi et procédés de ses différents types de contrôle de qualité

➤ **Réalisé par :** *BENDRIF AYOUB*
ELMAJDOUBI HIBA

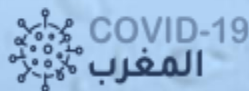
Soutenu le : 01 Juillet 2021

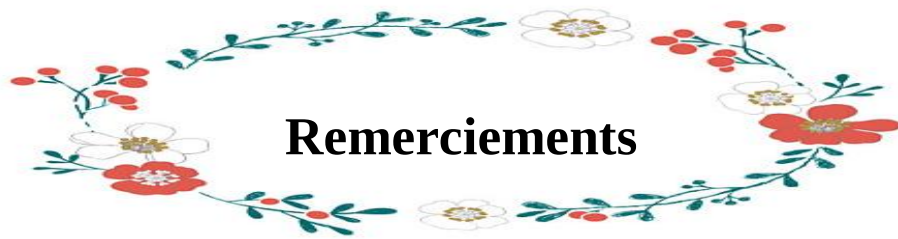
Devant la commission d'examen composée de :

Encadrant : Pr. Driss CHAFIKI, FST Marrakech

Examineur : Pr. ERRAGRAGUI, FST Marrakech

Année universitaire 2020-2021





Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir

Le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr CHAFIKI Driss, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse à Mr Said FIZALI et le service laboratoire de Ménara Préfa pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.



Ce modeste travail est dédié à ceux qui quelques soient les termes embrassés on n'arriverait jamais à leur exprimer notre amour sincère.

A ceux qui ont souffert sans nous laisser souffrir, ceux qui n'ont épargné aucun effort pour nous rendre heureux, aux personnes les plus dignes de notre estime et notre respect : Nos chers parents.

A nos sœurs et frères qui n'ont pas cessé de nous conseiller et nous soutenir tout au long de notre cursus.

A nos amis qui nous ont encouragés et partagés avec nous nos moments de liesse et de tristesse.

Aux moments d'échec, aux obstacles et aux périodes d'anéantissement qui nous ont appris que la réussite appartient à ceux qui n'abandonnent jamais.

A vous chers lecteurs

Résumé

Le béton est un matériau de construction fabriqué grâce à un mélange de chaux ou de ciment, de sable et de gravier dont il existe plusieurs types on prend le béton prêt à l'emploi dans le cas de notre projet.

Les bétons prêts à l'emploi sont des bétons directement conçus par les industriels dans leurs centrales à béton. Il est ensuite transporté à l'aide d'un camion toupie et directement transféré sur les chantiers clients. Une fois sur place, le béton prêt à l'emploi est appliqué par le camion toupie, soit par la pompe à béton, soit par la goulotte. Celui ci suit une démarche du contrôle pour avoir la meilleure qualité.

On commence par le contrôle de la matière première du béton qui porte principalement sur le contrôle à la fois des granulats et des adjuvants.

Le contrôle des granulats nécessite la connaissance d'un certain nombre des caractéristiques physiques d'où on trouve l'analyse granulométrique AG; la propreté superficielle PS; l'équivalent de sable ES.

Le contrôle des adjuvants vise à la détermination de son extrait sec; la mesure de son PH et le calcul de sa densité.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

GENERALITES.....	3
-------------------------	----------

1. Les unités utilisées pour notre projet.....	3
2. Service laboratoire.....	3
2.1. Structure organisationnelle de laboratoire.....	4

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<u>I. L'influence de l'adjuvant sur le béton.....</u>	4
--	----------

1. Introduction.....	4
2. Le béton.....	4
2.1. Définition de béton.....	4
2.2. Les types de béton.....	5
2.3. Les propriétés de béton.....	8
2.4. Les domaines d'utilisation de béton.....	9
3. L'adjuvant.....	10
3.1. Définition de produit adjuvant pour matériaux cimentaires	10
3.2. Les types d'adjuvant pour le béton.....	10
3.3. Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment.....	13
3.4. Mode d'action des adjuvants.....	13
4. Objectifs.....	14

<u>II. L'effet du béton sur l'environnement.....</u>	14
---	-----------

1. Introduction.....	14
1.1. La dégradation de l'environnement par le béton.....	15
1.2. La toxicité de béton.....	16
2. Conclusion.....	17

<u>III. La teneur en eau dans le béton.....</u>	17
--	-----------

1. Introduction.....	17
2. L'eau de gâchage.....	17
2.1. Définition de l'eau de gâchage.....	17
2.2. Le rôle de l'eau de gâchage dans la formulation de béton.....	18
3. Les différentes eaux du béton.....	18
3.1 Eau efficace.....	19
3.2 Eau totale.....	19
3.3 Eau d'humidité des granulats.....	19
3.4 Eau absorbable par les granulats.....	19
3.5 Eau d'apport (eau d'ajout).....	19
4. Conclusion.....	20

PARTIE 2 : ETUDE PRATIQUE

CHAPITRE 5. FABRICATION ET PROCEDES DE CONTROLE DU BETON A MENARA PREFABRIQUE...21

1. La matière première.....	21
1.1. Les constituants de la matière première du béton et ses origines.....	21
1.2. Contrôle de la matière première du béton.....	22
1.2.1. Contrôle des granulats.....	22
a) Essai AG « analyse granulométrique ».....	22
b) Essai ES « équivalent de sable ».....	23
c) Essai PS « propreté superficielle ».....	26
d) Bleu de méthylène.....	26
1.2.2. Contrôle d'adjuvant.....	28
2. Fabrication du BPE.....	31
2.1. Technique de la formulation de BPE.....	31
2.2. Fabrication du BPE à l'unité centrale 1.....	35
2.3. Fabrication du BPE à l'unité centrale 2.....	36
3. Réutilisation de l'eau de gâchage.....	38

4. Contrôle de la qualité du produit finale.....	40
4.1. Contrôle de la résistance mécanique.....	41
a) La résistance à la compression.....	41
b) La résistance à la flexion.....	42
4.2. Contrôle du béton frais.....	43
4.2.1 Contrôle de slump « essai d’affaissement au cône d’Abrams ».....	43
4.2.2 Contrôle de béton sur chantier.....	44
5. Conclusion.....	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : structure organisationnelle du laboratoire (MP)

Figure 2 : Le béton prêt à l'emploi

Figure 3 : La résistance du béton au feu et aux chocs

Figure 4 : Construction d'immeuble, chantier avec les murs en béton

Figure 5 : Adjuvant pour le béton

Figure 6 : Adjuvant accélérateur

Figure 7: Adjuvant retardateur

Figure 8 : Principe d'action d'un Accélérateur de prise

Figure 9 : principe de retardateur de prise

Figure 10 : Hydrofuges de masse

Figure 11 : Mode d'action des adjuvants

Figure 12 : Enlève de forêts pour préparation d'une route

Figure 13 : Le béton : le matériau le plus destructeur sur terre

Figure 14: l'eau de gâchage

Figure 15 : les effets de l'ajout de l'eau dans le béton

Figure 16 : stockage de la matière première

Figure 17 : série de tamis

Figure 18: L'ajout de l'échantillon

Figure 19 : Agitation de l'éprouvette

Figure 20 : Repos de mélange

Figure 21 : La distance mesurée par le piston

Figure 22 : agitation du mélange

Figure 23 : dépôt des gouttes sur le papier filtre

Figure 24 : L'étalement de l'adjuvant dans la cuvette de dessiccateur

Figure 25: Mesure de pH par pH mètre

Figure 26 : lecture de la densité par un densimètre

Figure 27 : Courbe de partage

Figure 28 : Les trémies versent dans tapis pèseuse

Figure 29 : Le malaxage du béton

Figure 30 : citerne du ciment

Figure 31: La charge de béton frais

Figure 32 : ascenseur à gaudis

Figure 33 : trémie secondaire

Figure 34: peseuse des granulats localisés dans la trémie secondaire

Figure 35 : tube du ciment inséré dans le malaxeur

Figure 36 : l'eau et l'adjuvant rajoutés dans le mélange final

Figure 37 : Lavage de la citerne après livraison

Figure 38 : la première élimination des agrégats

Figure 39 : Une goulotte avec flotteur à détecteur

Figure 40 : bassin avec agitateur

Figure 41 : machine de pression

Figure 42 : L'eau filtrée et les déchets de compression

Figure 43 : cylindre de béton frais

Figure 44 : la courbe obtenue par compression mécanique

Figure 45: la machine de flexion

Figure 46 : lecture d'affaissement du cône d'Abrams

Figure 47: béton frais

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : les différents types de béton

Tableau 2 : les types d'adjuvants

Tableau 3 : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment

Tableau 4 : la teneur en eau efficace et totale

Tableau 5 : correspondance Tamis-Grilles pour G1 (8/15)

Tableau 6 : résultat de calculs d'AG de type G1

Tableau 7 : Coefficient d'aplatissement

Tableau 8 : Précipitation concernant les substances nocives

Tableau 9 : Prescription et méthode d'essais pour le contrôle préliminaire de l'eau de gâchage

Tableau 10 : les valeurs consignées des granulats

Tableau 11 : Les résultats de la presse de compression

Tableau 12 : Les résultats de la flexion

Tableau 13 : les classes de consistance

Tableau 14 : Présentation des unités de productions de Ménara préfa

LISTE DES ABREVIATIONS

- *CIM béton : Centre d'information sur les ciments et les bétons*
- *(B.P.E.) : Béton prêt à l'emploi*
- *L'UNICEM : Union nationale des carrières et matériaux de construction*
- *BAP : béton autoplaçant*
- *BTP : Le bâtiment et travaux publics*
- *FST : Faculté des sciences et techniques –Marrakech*
- *NM : norme marocaine*
- *AN : application numérique*

Introduction générale

Le béton est sans aucune doute été depuis longtemps, le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de construction et du bâtiment, malgré sa complexité. C'est un matériau artificiel obtenu par un mélange d'un liant (généralement du ciment), d'eau, de granulats (sable et gravier), et éventuellement d'adjuvant, le tout choisi de façon rationnelle. Ce béton subit des fissurations dont les causes sont diverses : retrait, réaction chimique, contraintes mécaniques ou environnementales. Pour lutter contre ces fissurations, on a tendance à augmenter la section des aciers d'armatures. L'adhérence entre l'acier et le béton empêche alors les fissures de se propager.

Par ses nombreuses qualités, le béton se prête à de multiples conceptions nouvelles. Non seulement, il peut être moulé dans les formes les plus diverses, mais il a une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, il est peu combustible et peu toxique. Deux caractéristiques ont néanmoins limité son utilisation : il est fragile et résiste mal à la traction.

Il est nécessaire, non seulement de développer un béton de qualité, mais aussi d'assurer une mise en place correcte afin de répondre aux exigences demandées pour la mise en service de la structure, donc il reste toujours le problème de remplissage dans des endroits sur ferrailés et le risque de ségrégations pour le béton de fibres.

L'ajout des éléments fins qui doivent comporter au moins une addition minérale, moins de gravillons, un dosage en adjuvant super plastifiant et assez souvent un agent colloïdal, peut produire des bétons très maniables qui s'étalent, sans aucune vibration, dans les coffrages et se caractérisent par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage, tout en étant stables et garantissent aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilité.

Ce mémoire est structuré en deux parties :

La première partie est une recherche bibliographique. Elle est composée de trois sous-chapitres.

Dans le premier, nous présentons une recherche bibliographique concernant

l'identification et la caractérisation des différents bétons influencés par l'adjuvant ;

Le second sous-chapitre expose l'effet de la toxicité du béton sur de l'environnement ;

Dans le troisième sous-chapitre, nous étudierons la teneur en eau nécessaire pour mélanger un béton.

La deuxième partie, à caractère pratique, englobe les deux derniers chapitres IV et V de ce manuscrit. Le quatrième chapitre est réservé au groupe Ménara Holding, Ménara Préfa et ses services. Le cinquième et dernier chapitre consigne des importantes informations sur la fabrication du béton prêt à l'emploi et les contrôles exercés pour l'obtention de la meilleure qualité.

Généralités

1. Les unités utilisées pour notre projet

On a préparé notre recherche de la partie pratique dans deux unités centrale et au service laboratoire : la première unité c'est LIBHERR C'est une centrale pour béton prêt à l'emploi de constructeur allemand, commandée par automate. Sa capacité de production est 90 m³/H. Et la deuxième unité c'est la centrale 5 de marque STETTER produit le BPE, mais avec une capacité supérieure de 180 m³/H, ce qui la place comme la plus grande centrale à béton au Maroc et la cinquième de son genre au monde. Aussi on a contrôlé la qualité de ces produits au laboratoire.

2. Service laboratoire

2.1. Structure organisationnelle de laboratoire

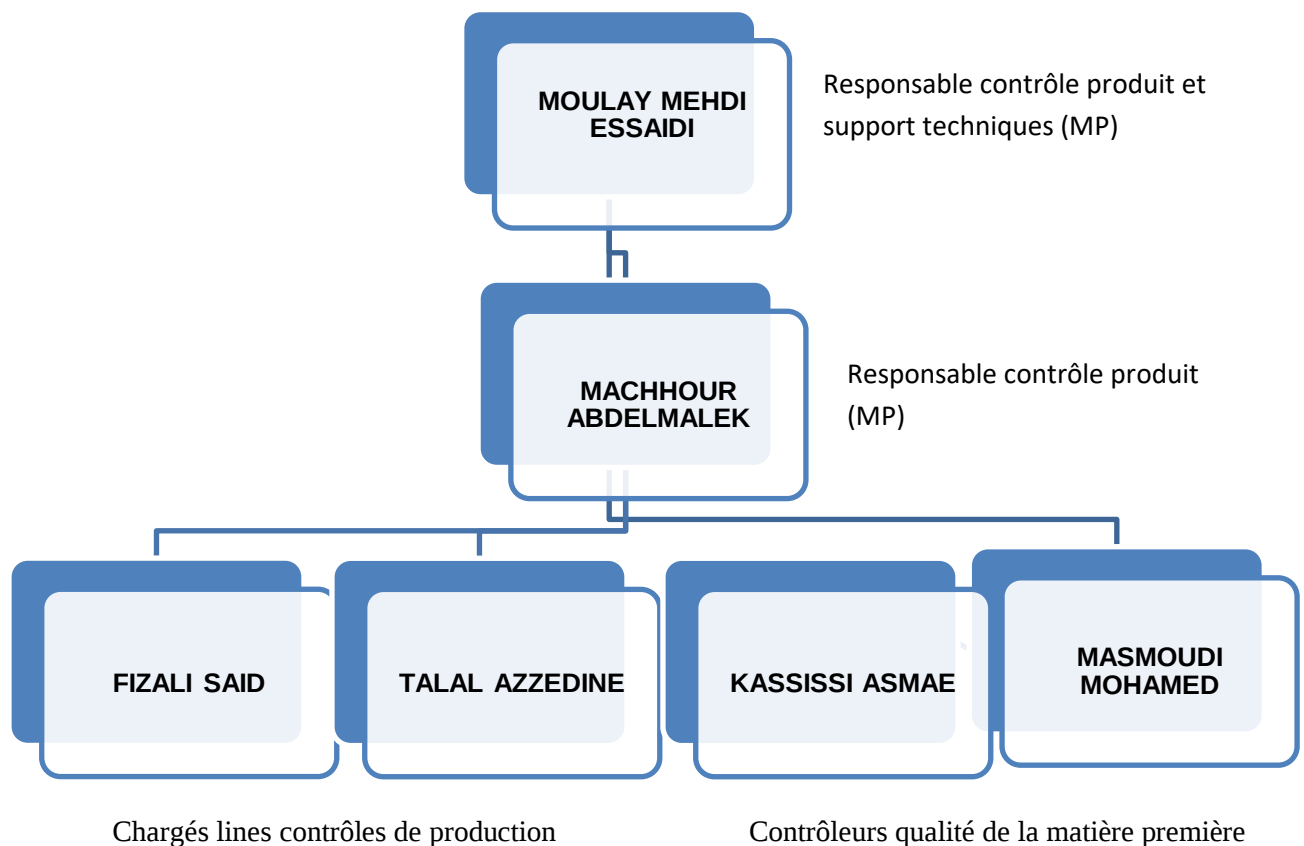


Figure 1 : structure organisationnelle du laboratoire (MP)

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. L'influence de l'adjuvant sur le béton

1. Introduction :

Dans un environnement en constante mutation, les adjuvants s'imposent comme un composant essentiel des bétons modernes. Aujourd'hui, plus de 95 % des bétons sont adjuvantes. Ils sont un catalyseur essentiel de l'évolution technologique des bétons, que ce soit au niveau des propriétés à l'état frais des bétons (facilité et confort de mise en œuvre), qu'en termes de performances mécaniques et de résistances. (*Patrick .G : 2012*)

2. Le béton :

2.1. Définition de béton :

Le béton est un mélange, en proportions diverses, de granulats, de ciment, d'eau, d'additions minérales (remplaçant parfois le ciment), souvent d'adjuvants et parfois de fibres. C'est le matériau de construction le plus utilisé au monde, on estime que sa production annuelle correspond à environ une tonne par habitant de notre planète. Ce succès est dû à plusieurs facteurs : le béton est un matériau économique, fabriqué à partir de ressources le plus souvent locales; il est résistant, durable, isolant thermique et phonique ; il participe à l'architecture par les formes, les textures, les teintes qu'il permet d'obtenir ; il est facile à mettre en œuvre et se marie bien avec l'acier.

Il existe deux grandes filières de réalisation des bétons :

- Le *béton coulé en place*, qui provient soit de centrales de béton prêt à l'emploi (B.P.E.), installations fixes permettant de fabriquer des bétons à propriétés spécifiées, soit de fabrication sur chantier de bétons à composition prescrite.
- Les *produits en béton préfabriqué*, éléments composant les structures, poutres, poteaux, éléments de façade, dalles de plancher, les réseaux d'assainissement etc., qui peuvent être fabriqués de manière industrialisée. (*Jean-Michel. T : 22 mai 2021*)



Figure 2 : Le béton prêt à l'emploi (BPE)

2.2. Les types de béton (Tabl. 1):

Le béton léger : est un béton très malléable et très léger. Il est efficace pour tous les travaux de rénovation. Il résiste aux chocs et remplit très bien sa mission d'isolant thermique. Le béton léger s'emploie particulièrement pour les murs porteurs et les dalles.

Le béton lourd : dispose de granulats très lourds, ce qui permet de répondre à des besoins très précis tels que les ouvrages des centrales nucléaires. L'emploi de ce béton permet de ne laisser passer aucune trace de radiation et de répondre à des normes très strictes de sécurité

Le béton armé : reprend les codes du béton pour fondation traditionnelle, mais auquel il est rajouté un nouveau matériau : l'acier. En posant des armatures de cette matière, la solidité d'une fondation en béton est renforcée. En effet, l'acier est un matériau très résistant aussi bien lorsqu'il est tracté ou compressé.

Le béton autoplaçant : ce type est un béton extrêmement fluide, facilitant grandement son utilisation. Avec ce béton, le but est de gagner un temps considérable lors du coulage sur chantier, car la mise en œuvre se fait sans vibration, contrairement aux bétons plus conventionnels.

Le béton fibré : au même objectif que le béton armé : renforcer la solidité générale de la fondation réalisée. La fibre a le même principe actif que l'armature utilisée sur le béton armé : elle limite les risques de fissuration du béton et améliore sa résistance sur le long terme.

Le béton prêt à l'emploi (BPE) (Fig. 1) est directement conçu par les industriels dans leurs centrales à béton. Il est ensuite transporté à l'aide d'un camion toupie et directement transféré sur les chantiers clients. Une fois sur place, le béton prêt à l'emploi est appliqué par le camion toupie, soit par la *pompe* à béton, soit par la goulotte.

Le béton précontraint : est un béton ayant la particularité de rester dans un état de compression optimal. Cet état de compression permet au béton d'être utilisé dans les meilleures conditions, ce qui favorise une meilleure finition.

Le béton de ciment alumineux : se compose, comme son nom l'indique, de ciment alumineux. Ce type de ciment, à base d'aluminate de calcium, apporte différents avantages au béton : la prise est plus rapide, et la résistance est plus importante sur le long terme et également vis-à-vis des fortes chaleurs.

Le béton haut performance : possèdent des caractéristiques beaucoup plus intéressantes que les bétons conventionnels. Ils sont à la fois plus résistants à la compression, et beaucoup plus fluides. Il s'agit également d'un béton moins poreux, protégeant ainsi plus efficacement les armatures préalablement déposées.

Le béton projeté : Il s'agit d'un béton qui porte bien son nom, car il est volontairement projeté sur une surface solide par le biais d'un projecteur d'air comprimé. Le but est de limiter l'affaissement et le coulage ultérieur du béton. En termes de composition, le béton projeté dispose de caractéristiques similaires au béton pour les fondations plus traditionnelles. (*Michel SAS.A : 2008*)

Tableau 1 : Les différents types de béton

Type de béton	Avantages
Béton lourd	• Répond à des normes de sécurité très strictes • Dispose de granulats très lourds
Béton armé	• Fondations renforcées par l'acier • Risque de fissuration du béton limité
Béton auto plaçant	• Extrêmement fluide • Mise en œuvre sans vibration pour un gain de temps conséquent
Béton fibré	• Renforcement général de la fondation • Risque de fissuration du béton limité
Béton prêt à l'emploi	• Gain de temps conséquent • Transféré et livré sur chantier
Béton précontraint	• État de compression optimal • Meilleure qualité de finition des fondations réalisées
Béton léger	• Malléable et léger • Résistant aux chocs
Béton haute-performance	• Plus résistant à la compression • Plus fluide et moins poreux

Béton projeté	• Réduit l'affaissement de la fondation • Empêche le coulage ultérieur du béton
Béton de ciment alumineux	• Temps de bétonnage réduit • Meilleure résistance sur le long terme

2.3. Les propriétés de béton :

Le béton se caractérise par plusieurs propriétés, en particulier :

La résistance mécanique et surtout la résistance à la compression. Les bétons usuels présentent des résistances comprises entre 25 et 40 MPa. Au-delà de 50 MPa, on parle de bétons hauts performances (50 MPa correspondent à une force de 50 tonnes agissant sur un carré de 10 cm de côté).

La durabilité : le béton offre une grande pérennité face aux agressions physico-chimiques du milieu environnant (gel, pluie et pollution atmosphérique....). Il est particulièrement adapté pour la réalisation d'ouvrages devant résister à des conditions difficiles et extrêmes.

La porosité et la compacité : plus un béton est compact (ou moins, il est poreux), plus ses performances seront élevées et sa durabilité importante.

Résistance au feu des constructions en béton (Fig. 2):

À 750°C, la résistance de l'acier est nulle, tandis que le béton a une résistance résiduelle de +/- 35% à cette température. La température de l'acier dans une construction en béton est dépendante de la durée du feu, la puissance du feu et l'épaisseur de béton au-dessus des aciers. Plus l'épaisseur du béton est importante, plus la température de l'acier monte lentement. De cette manière, une résistance au feu de minimum 3 heures et même jusqu'à 6 heures est possible. (*La protection incendie par les constructions en béton, FEBELCEM, avril 2006*)



Figure 3 : La résistance du béton au feu et aux chocs

2.4. Les domaines d'utilisation de béton :

Les bétons autoplaçants sont utilisables aussi bien pour des applications horizontales que verticales, sur tous les types de chantiers, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton.

La majorité des parties d'ouvrage peut être réalisée en Béton (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, mobiliers urbains...).

La plupart des industriels du béton ont désormais intégré le béton auto plaçant dans leur processus de fabrication des produits préfabriqués en usine, destinés à la réalisation de bâtiment et de structures de génie civil :

- voiles, panneaux de façade, encadrements de portes et fenêtres, encadrements de baies;
- éléments de structure : poteaux, poutres, poutrelles, cadres, dalles, linteaux, caissons, longrines ;
- escaliers, prédalles ;
- cunettes, regards, cuves, bordures, gradins, caniveaux. *(La plateforme d'information de l'industrie cimentière française : 2011)*



Figure 4 : Construction d'immeuble, chantier avec les murs en béton

3. L'adjuvant

3.1 Définition de produit adjuvant pour matériaux cimentaires

Les adjuvants pour matériaux cimentaires sont des produits chimiques ajoutés aux matériaux cimentaires tel que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons de ciment pour modifier leurs caractéristiques. Les ajouts de ces adjuvants, réalisés lors du malaxage, sont le plus souvent inférieurs à 5 % en masse de ciment.



Figure 5 : Adjuvant pour le béton

3.2. Les types d'adjuvant pour le béton (Table. 2)

Les accélérateurs (Fig. 5): ils accélèrent l'hydratation (le durcissement) du béton.

Les retardateurs de prise (Fig. 6): ils ralentissent l'hydratation du béton et sont utilisés lorsque les conditions de mise en place sont difficiles.

Les entraîneurs d'air : ils ajoutent et entraînent de minuscules bulles d'air dans le béton, ce qui réduit les dommages au cours des cycles de gel-dégel et augmente la durabilité. Cependant, l'air entraîné implique un compromis avec la résistance (1 % d'air entraîné peut diminuer la résistance en compression de 5 %).

Les plastifiants : ils augmentent la maniabilité du béton frais, ce qui lui permet d'être mis en place plus facilement. Les plastifiants peuvent également être utilisés pour réduire la teneur en eau du béton et améliorer la résistance et les caractéristiques de durabilité.

Les pigments : ils peuvent être utilisés pour changer la couleur du béton, pour l'esthétique.

Les hydrofuges de masse (Fig. 9): permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques.

(Matthias .D : 2010)

Les agents de mouture : ajoutés lors du broyage du ciment, ils permettent de lutter contre le phénomène de réagglomération. Les ajouts se situent entre 0,01 % et 0,25 % en masse.

(Le SYNAD, affilié à l'UNICEM : 2006)



Figure 6 : Adjuvant accélérateur



Figure 7 : Adjuvant retardateur

Tableau 2 : les types d'adjuvants

Adjuvants	Effets principaux
Plastifiants (ou "réducteurs d'eau")	Défloculation des grains de ciment Diminution du rapport E/C (augmentation des résistances mécaniques) Amélioration de l'ouvrabilité et maintien dans le temps Augmentation de la cohésion du béton
Superplastifiants (ou "haut réducteurs d'eau")	Forte défloculation des grains de ciment Forte réduction du rapport E/C (forte augmentation des résistances mécaniques) Forte fluidification du béton ; maintien dans le temps très variable
Accélérateurs de prise ou de durcissement	Réduction des temps de prise des bétons Accroissement de la vitesse de montée en résistance des bétons Bétonnage en hiver
Retardateurs de prise	Accroissement des temps d'ouvrabilité et des temps de prise Régulation de la chaleur d'hydratation Bétonnage en été et/ou déchargement lent
Entraîneurs d'air	Protection des bétons contre les actions du gel et des sels de déverglaçage par création d'un réseau de micro-bulles d'air
Hydrofuges de masse	Réduction de la capillarité et de l'absorption capillaire des bétons Renforcement de "l'étanchéité intrinsèque" des bétons Possibilité de réduire certaines efflorescences

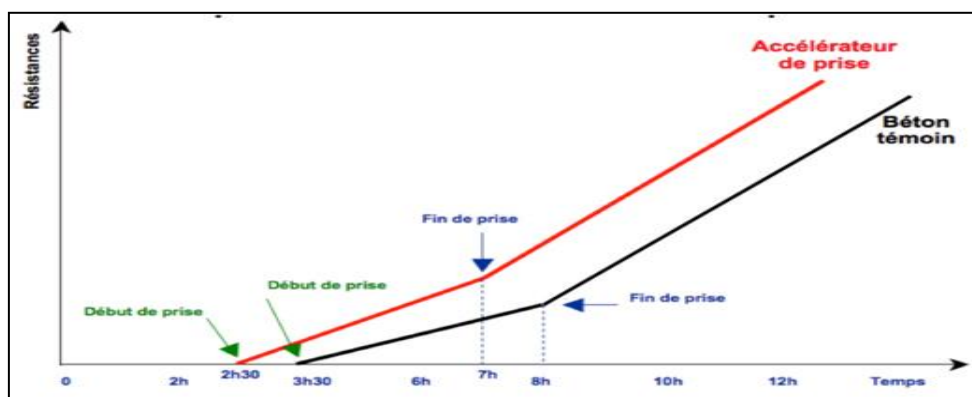


Figure 8 : principe d'action d'un accélérateur de prise

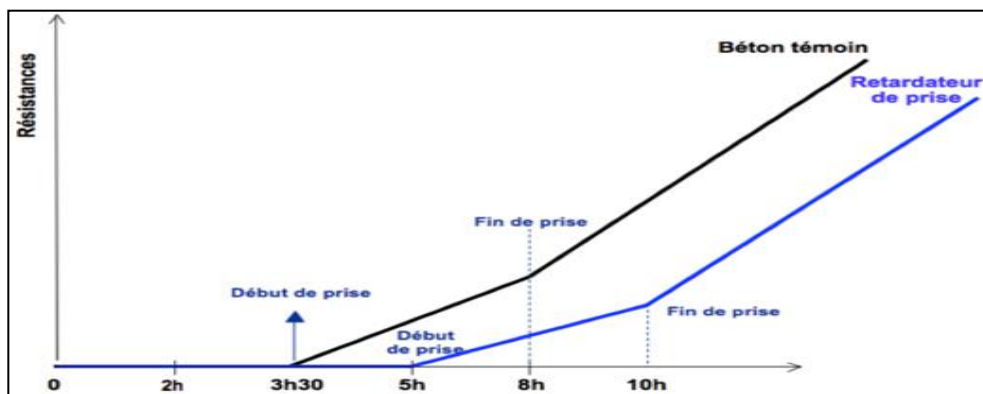


Figure 9 : principe de retardateur de prise

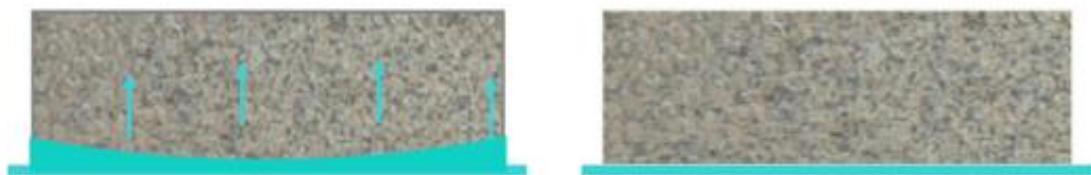


Figure 10 : Hydrofuges de masse

3.3. Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment (Tabl. 3)

En général, les adjuvants sont introduits sous forme liquide, en petites quantités, lors du malaxage. Leur pourcentage en poids par rapport au ciment se situe en général entre 0,2 et 2%. Le dosage doit de toute façon être effectué selon les directives des fabricants. La part d'eau ainsi introduite dans le béton est prise en compte dans le calcul du E/C.

E/C : exprimant le rapport entre le poids d'eau de gâchage et le poids de ciment d'un béton. (*Holcim Belgique, membre du groupe LafargeHolcim*)

Tableau 3 : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment

ADJUVANTS	DOSAGE EN %
Plastifiants	0,15 à 1,2
Superplastifiants	0,6 à 2,5
Accélérateurs de prise	1 à 3
Accélérateurs de durcissement	0,8 à 2
Retardateurs de prise	0,2 à 0,8
Hydrofuges	0,5 à 2
Entraîneurs d'air	0,05 à 3
Rétenteurs d'eau	0,1 à 2

3.4. Mode d'action des adjuvants (Fig. 11)

Après malaxage du ciment avec l'eau en ajoutant l'adjuvant dosé par le ciment au mélange donc on est à l'état dispersée du ciment c'est-à-dire le plastifiants joue un rôle de séparation de grains du ciment pour que le mélange reste à son état et ne sèche qu'après un

temps voulu alors tous les grains du ciment sont recouvertes d'eau absorbées par eux ; on dit qu'on a une meilleure hydratation des grains.

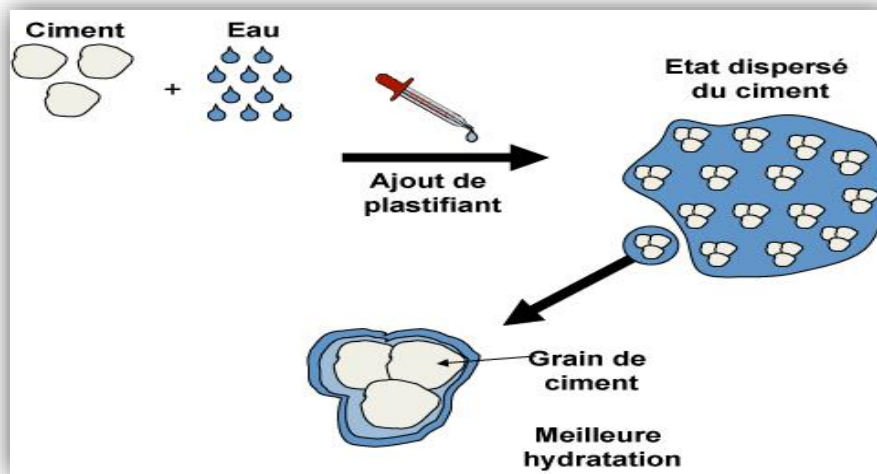


Figure 11 : Mode d'action des adjuvants

4. Objectifs :

L'objectif de ce travail est :

- de traiter des adjuvants dans le béton plus précisément leurs différentes utilisations, en mettant en évidence d'abord un aperçu sur le béton. Ce dernier, est un matériau découlant de l'assemblage en proportion bien définies de sable, ciment et eau ;
- ensuite, parler des adjuvants qui peuvent être définis comme étant un produit dont l'incorporation se fait à faible dose dans le béton et lui confère des aptitudes ;
- de montrer l'impact et l'importance de l'adjuvant dans le béton notamment en modifiant son comportement, son ouvrabilité, son temps de prise et de durcissement ainsi que certaines de ses propriétés. Ces modifications facilitent fortement la mise en œuvre dans les chantiers, donnent aux bétons de nouvelles aptitudes souvent impératives dans certains projets de constructions.

II. L'effet du béton sur l'environnement (Fig. 12)

1. Introduction

La solidité du béton est certes une qualité particulièrement attrayante dans les constructions des maisons et des infrastructures. Mais comme toute bonne chose en excès, elle peut créer plus de problèmes qu'elle n'en résout. La fabrication du béton participe à plusieurs sources de réchauffement climatique.

1.1. La dégradation de l'environnement par le béton

Le béton peut résister pendant des décennies à la nature et en même temps, en amplifiant soudainement l'impact.

1.2.1 Perturbation climatique

Il amplifie les conditions climatiques extrêmes dont il nous protège. À tous les stades de la production, le béton serait responsable de 4 à 8 % des émissions mondiales de CO₂.



Figure 12 : Enlève de forets pour préparation d'une route



Figure 13 : le béton, le matériau le plus destructeur sur terre

1.2.2 Consommation excessive d'eau par le béton:

Le béton est un monstre assoiffé qui absorbe près d'un dixième de l'eau utilisée dans l'industrie mondiale. Cette situation met souvent à rude épreuve l'approvisionnement en eau

potable, car 75 % de cette consommation se fait dans les régions en proie à la sécheresse et au stress hydrique. Dans les villes, le béton ajoute également à l'effet d'îlot de chaleur en absorbant la chaleur du soleil et en emprisonnant les gaz d'échappement des voitures et des climatiseurs.

1.2.3 Augmentation de la pollution:

Il aggrave également le problème de la silicose et d'autres maladies respiratoires. Les poussières provenant des ventilateurs et des malaxeurs contribuent jusqu'à 10 % des grosses particules qui étouffent Delhi par exemple.

Les carrières de calcaire et les cimenteries sont aussi souvent des sources de pollution, de même que les camions qui transportent les matériaux vers les chantiers de construction. À cette échelle, même l'acquisition de sable peut être catastrophique « détruisant tellement de plages et de cours d'eau dans le monde ».

1.2.4 Menace de la biodiversité:

Cela touche à l'impact le plus grave, mais le moins bien compris, du béton, à savoir qu'il détruit les infrastructures naturelles. Pire encore, les fonctions écologiques dont l'humanité dépend pour la fertilisation, la pollinisation, la lutte contre les inondations, la production d'oxygène et la purification des eaux ne sont pas remplacées. (*Jonathan.W : 2011*)

1.2. La toxicité de béton

Le béton à l'état frais est à manipuler avec précaution. Il est indispensable d'utiliser des équipements de protection. En effet, c'est un produit qui va être irritant à cause d'un des constituants présents dans le ciment. Les principales conséquences sur la santé vont aller du dessèchement de la peau à de graves brûlures sur le corps, au cas où vous auriez souhaité Travailler torse nu par beau temps.

L'irritation peut aussi causer de graves lésions aux yeux. Prenez garde car si vous avez reçu des particules directement dans les yeux pendant une durée prolongée votre vision peut être grandement altérée.

Le ciment et le béton sont classés dangereux et représentent la première cause de dermatites de contact dans le BTP. Le ciment est un produit qui présente des risques pour la peau, les

yeux et les voies respiratoires : lésions oculaires, irritations de la peau, lésions allergiques (dermites), brûlures graves... *Corentin. L (ESTP, IAE PARIS)*

2. Conclusion

Le béton est un matériau dangereux pour nous et la planète. Le béton, en s'écoulant dans l'environnement, est toxique pour nous et l'écosystème pollué.

Travailler avec du béton ne peut être fait sans avoir connaissance de ces phénomènes qui à terme, pourraient accélérer le réchauffement climatique ainsi que la destruction d'espèces locales.

En plus de cela, si vous travaillez avec du béton, il faut que vous sachiez qu'il est agressif pour votre corps et que des précautions seront à prendre avant toute manipulation pour éviter d'éventuels risques vous empêchant de travailler.

III. La teneur en eau dans le béton

1. Introduction

On désigne par teneur en eau la quantité d'eau liquide contenue dans un échantillon de matière, par exemple un béton sec, un échantillon de sol, de roche, de céramique ou de bois. La quantité étant évaluée par un rapport pondéral ou volumétrique.

2. L'eau de gâchage

2.1. Définition de l'eau de gâchage

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux (Fig. 14). *Simon .B (Ecole de Management)*



Figure 14 : l'eau de gâchage

2.2. Le rôle de l'eau de gâchage dans la formulation de béton

L'eau joue un double rôle dans la formulation du béton. C'est elle qui permet de :

- déclencher l'hydratation du ciment (liant hydraulique) qui conduit à la prise et au durcissement du béton par la formation de constituants hydratés qui ont des propriétés liantes ;
- assurer la maniabilité du béton frais pour faciliter sa mise en place.

Le dosage en eau qui se traduit par le rapport Eau/Ciment (**E/C**) est un paramètre déterminant vis-à-vis de la porosité, de la résistance et donc de la durabilité du béton. Plus le rapport **E/C** est faible plus ces propriétés sont favorisées. En règle générale le rapport **E/C** est compris entre 0,4 et 0,6.

La quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment est de l'ordre de 20 à 25 % de la quantité de ciment en masse. Le reste de l'eau permet d'assurer la maniabilité du béton à l'état frais.

Pour limiter la quantité d'eau dans la formulation du béton, on utilise généralement des adjuvants tels que les plastifiants et les super-plastifiants. (*La plateforme d'information de l'industrie cimentière française : 2008*)

3. Les différentes eaux du béton

3.1 Eau efficace

L'eau efficace correspond à la différence entre la quantité d'eau contenue dans le béton frais et la quantité absorbée par les granulats. C'est en fait l'eau disponible pour hydrater le ciment.

3.2 Eau totale

L'eau totale correspond à toute l'eau contenue dans le béton. C'est la somme de l'eau d'apport, de l'eau contenue à la surface ou dans les granulats (liée à leur porosité), l'eau apportée par les adjuvants et éventuellement les additions introduits sous forme liquide (Tabl.4).

Origine de l'eau dans le béton			
Eau de gâchage [l/m³]	Eau contenue dans les adjuvants et additions [l/m³]	Granulats	
		Eau adsorbée à la surface [l/m³]	Eau absorbée [l/m³]
80–140	3–6	30–80	8–12, pour granulats légers ou 40–80 pour granulats recyclés
teneur en eau totale			
teneur en eau efficace			

Tableau 4 : la teneur en eau efficace et totale dans le béton

3.3 Eau d'humidité des granulats

Cette eau provient des eaux pluviales auxquelles ont été exposés les granulats pendant leur stockage ou de l'eau de lavage (Tabl. 5). Elle doit être prise en compte lors de la fabrication du béton. Elle doit être déduite de la quantité totale prévue lors de la formulation.

3.4. Eau absorbable par les granulats

Elle correspond à l'eau qui peut être absorbée par les granulats du fait de leur porosité. Les granulats peuvent être saturés en eau lors de leur introduction dans le malaxeur, cette eau n'intervient pas dans l'hydratation du ciment. Si les granulats ne sont pas saturés en eau, le calcul de l'eau d'apport devra tenir compte de la quantité d'eau nécessaire pour saturer les granulats.

3.5. Eau d'apport (ou eau d'ajout)

L'eau d'apport correspond à l'eau à introduire dans le malaxeur indépendamment de l'eau introduite par les autres constituants.

4. Conclusion

L'eau est l'un des quatre composants de base du béton avec le sable, les granulats et le ciment, il ne faut donc surtout pas le négliger lors de la composition de votre béton et faire bien attention à son dosage. En effet, nous allons voir que l'eau a de nombreux effets sur la résistance, la durabilité, la qualité et la maniabilité de votre béton à différents stades.

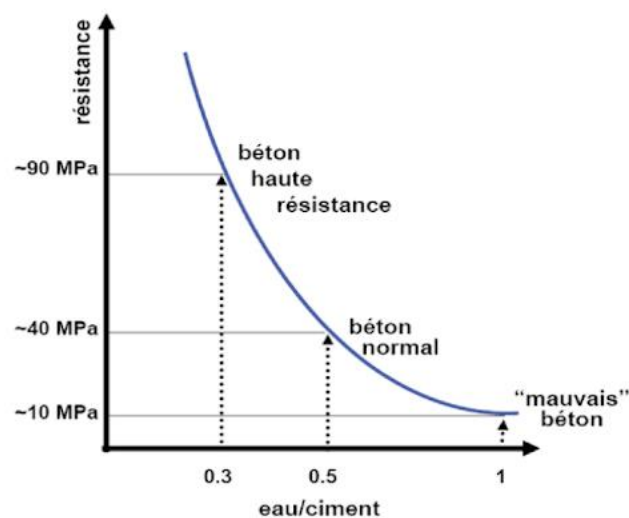


Figure 15: les effets de l'ajout de l'eau dans le béton

Dans ce graphique de la figure 15 on traite la résistance avec le rapport E/C.

Plus le rapport E/C diminue vers 0.3, on voit que la résistance du béton augmente presque 90MPa ce qui mène à une bonne qualité de produit.

Quand le rapport E/C agrandit vers 1, on atteint une mauvaise résistance de béton environ 10MPa.

On obtient un béton normal après avoir un rapport E/C de 0.5 et d'une résistance égale à 40MPa

CHAPITRE 5 : FABRICATION ET PROCEDES DECONTROLE

DU BETON A MENARA PREFABRIQUE

1. La matière première

1.1. Les constituants de la matière première du béton et ses origines

Différents constituants entrent dans la composition du béton :

- **Ciment** : c'est une poudre minérale, un liant hydraulique, fait prise et durcit lorsqu'il est mis au contact de l'eau, d'origine « CIMAT, HOLCIM » selon NM 10.1.004 ;
- **Granulats** : Matériau minéral granulaire apte à être utilisé dans du béton. Les granulats peuvent être naturels, artificiel, ou recyclés à partir de matériaux précédemment utilisés en construction, d'origine carrière selon NM 10-1-136 / 10-1-137 / 00-1-004 (15) ;
- **Eau** : joue un rôle déterminant dans la fabrication des mortiers et des bétons à base de liants hydrauliques, elle doit respecter la norme NM03.7.001 ;
- **Adjuvants** : est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à une dose inférieure ou égale à 5% en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou durci, d'origine « SIKKA, LYKSOR » selon les normes européennes NF EN 943-1 NF EN 943-2 (Figure :16)



Figure 16 : stockage de la matière première

1.2. Contrôle de la matière première du béton

1.2.1. Contrôle des granulats

a) Essai AG « analyse granulométrique par tamisage »

Cet essai a pour but la définition du mode opératoire pour la détermination de la granularité comprise entre 0 et 50mm. NM EN933-1

On commence par la préparation de l'échantillon, en calculant sa masse nécessaire pour l'essai selon la relation suivante : $M = (D/10)^2$ (INS-LAB-004)

Avec M exprimé en kg et D la dimension maximale des plus gros éléments en mm.

On prépare 2 échantillons, le premier M1h pour la détermination de la masse sèche et le deuxième M2h pour l'analyse granulométrique de type **G1** (gravier de type 1) (8/15mm).

Premier échantillon :

- Introduire une masse M1h=3025g dans une étuve ventilée réglée à 110°C±5°C jusqu'à dessiccation complète. Puis on pèse après séchage et on obtient M1s=3012g.
- Après on calcule la teneur en eau du premier échantillon $w1 = 100 * (M1h - M1s) / M1s$

$$\text{AN : } w1 = 100 * (3025 - 3012) / 3012 = 0.43\%$$

Deuxième échantillon :

- On pèse cet échantillon M2h=3075g puis on le lave dans un tamis de 0.5mm. Ensuite on le met dans l'étuve ventilée à 110°C±5°C. Après le séchage on le pèse une autre fois M2s=3060g.
- On calcule $w2 = 100 * (M2h - M2s) / M2s$

$$\text{AN : } w2 = 100 * (3075 - 3060) / 3060 = 0.49\%$$

On mesure la teneur en eau du tamisat $w = (w1 + w2) / 2$

$$\text{AN : } w = (0.43 + 0.49) / 2 = 0.46\%$$

(FE-LAB-005)

- ❖ On met M2h dans une série de tamis (Fig., 21) et les grilles correspondantes pour chacun d'eux, en même temps on calcule les masses de chaque refus (Tabl. 5).

Des tamis (mm)	Grilles (mm)	Refus partiels Mg (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage des refus cumulés	Pourcentage des tamisats cumulés	Refus (g)	Passant Me (g)
16	10	70	70	2.3	97.7	60	10
12.5	8	937	1007	32.9	67.1	840	97
10	6.3	1135	2142	70	30	1007	128
8	5	625	2767	90.4	9.6	539	86
6.3	4	247	3014	98.4	1.6	211	36
5	3.15	40	3054	99.7	0.3	36	4

Tableau 5 : correspondance Tamis-Grilles pour G1 (8/15)

Tableau 6 : résultat de calculs d'analyse granulométrique (AG) de type G1

$\Sigma Mg=3054g$	$\Sigma Me=361g$	Coefficient d'aplatissement= $\Sigma Me/\Sigma Mg=11.8\%$
-------------------	------------------	---

Si le coefficient d'aplatissement est supérieur à 25%, les granulats sont non conformes, et quand ce coefficient est inférieur à 25% comme notre cas (Tabl., 5, 6) les granulats sont conformes car ils contiennent la minorité des grains aplatis qui donne la meilleure résistance au béton.



Figure 17 : série de tamis

Catégorie	Vss
Aa	25
Ab et Ac	30
Ad	40

Selon la norme : NM (A, NM 10.1.155)

Tableau 7 : Coefficient d'aplatissement

b). Essai ES « équivalent de sable »

Le but d'essai est de déterminer le degré de pollution d'un sol ou d'un sable.

On fait le prélèvement de deux échantillons. Le premier pour calculer la teneur en eau et le deuxième pour ES à 10% de fines.

On note la masse du premier $M_h = 400\text{g}$ et on le sèche dans l'étuve à $110 \pm 5^\circ\text{C}$; puis on pèse après séchage; on trouve $M_s = 373\text{g}$.

$$W = (M_h - M_s / M_s) \times 100 = 7.23\%$$

Pour le deuxième échantillon, on le tamise sous l'eau sur le tamis 0.063mm jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire. Après, on récupère le refus pour séchage à l'étuve à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ et on introduit 121g de la masse sèche dans l'éprouvette remplie par la solution lavante (219g de chlorure de calcium, 450g de glycérine, 12.5g formaldéhyde, 350ml l'eau distillée) jusqu'à 10mm (Fig. 18).

$$M_h = 120 + (1 + 7.23/100) = 121\text{g}.$$



Figure 18 : l'ajout de l'échantillon

Frappant fortement à plusieurs reprises la base d'éprouvette sur la paume de la main par déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon; on laisse 10min puis on fait boucher l'éprouvette et fixer sur la machine d'agitation pendant 30 sec (Fig. 19).



Figure 19 : Agitation de l'éprouvette

On rince les parois d'éprouvette par tube laveur jusqu'au trait repère supérieur ; on laisse le mélange reposer 20 min (Fig. 20).



Figure 20 : Repos de mélange

A la fin du repos, on met le piston dedans l'éprouvette en commençant à calculer la hauteur H1 et H2 (Fig. 21).

H1 est la distance du fond au niveau supérieur argileux égale à 116mm.

H2 est la distance donnée par le piston égale à 81mm.

Enfin, on calcule le rapport H2/H1 pour savoir la propreté du sable à condition qu'il soit supérieur à 60%.

$$\text{AN : R1 : } H2/H1 = (81/116) \times 100 = 70\%$$

$$\text{R2 : } (75/100) \times 100 = 75\%$$



Figure21 : La distance mesurée par le piston

C).Essai PS « propreté superficielle »

Cet essai permet de déterminer le pourcentage pondérale de particules inférieure à 0.5 mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2 mm.

- *Mode opératoire :*

La préparation de l'échantillon pour l'essai doit être conforme à la NM 10-1-169 NF 18-591.

La masse utilisée pour l'essai est de $0.2 \times D_{max}$, on a travaillé par 3/8 donc M1h et Mh égale 1.6 kg. On a séché le premier échantillon M1h à l'étuve à $110 \pm 5^\circ\text{C}$, puis on le pèse trouvant $M1s = 1594\text{g}$

La masse sèche M_s de l'échantillon se mis à l'essai de propreté est : $M_s = (M1h - M1S / M1s) \times 100$.

$$\text{AN : } M_s = (1600 - 1594 / 1594) \times 100 = 0.4\%$$

Passant au deuxième échantillon, on le tamise sous l'eau sur le tamis 0.5mm jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire. Après on a récupéré le refus pour séchage à l'étuve à $110 \pm 5^\circ\text{C}$; puis on le tamise à nouveau sur 0.5mm pendant une minute et le pèse $m' = 1584\text{g}$

La masse sèche des éléments inférieure à 0.5mm est : $m = M1s - m' = 1594 - 1584 = 10\text{g}$

Expression des résultats :

La propreté superficielle est $P = (m / M1s) \times 100$

AN : $P = (10 / 1594) \times 100 = 0.6\% < 3\%$ selon les NM 10.1.271; donc l'échantillon est conforme.

NB : Si $P > 3\%$ l'échantillon est non conforme donc le laboratoire doit déclarer l'information pour le changer.

d. Bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène a pour but la détermination des éléments fins par la mesure de la capacité d'absorption ionique, l'aspect et la propreté du sable.

Matériels : tamis 2mm, agitateur mécanique, burette graduée, bêcher en plastique de 2l, chronomètre, balance électronique, papier filtre, baguette en verre 8mm de diamètre.

Pour la préparation de l'échantillon de sable pour essai, on prend 200g de sable après séchage et tamisage dans 2mm, puis on l'inverse dans une bêcher remplis de 500ml de l'eau distillé.

On commence par l'agitation du mélange pendant 5min à une vitesse de 600Tr/min (Fig. 22). Ensuite, on ajoute 5ml du bleu de méthylène chaque minute avec réduction de vitesse jusqu'à 400Tr/min. On dépose une goutte du mélange obtenu à l'aide de la baguette sur le papier filtre.



Figure 22 : agitation du mélange

A la 5^{ème} min après l'ajout de 25ml du bleu de méthylène, on observe des auréoles autour de la goutte, on le cesse. Sans rajout du produit, on prélève une goutte chaque minute 5 fois pour suivre la stabilité des auréoles Fig. 23).



Figure 23 : dépôt des gouttes sur le papier filtre

Après on calcule $MB = V/M = 25/200 \times 10 = 1.25 \text{ g/kg}$; avec V est le volume ajouté du produit et M la masse prise du sable.

On sait que la fraction P de tamis 2mm=25, donc $MB \times p/100 = 1.25 \times 25/100 = 0.3125 \leq 1$ d'où le sable est conforme.

1.2.2. Contrôle d'adjuvant

❖ Détermination de l'extrait sec

Lorsque l'adjuvant est présenté en solution aqueuse, la détermination de l'extrait sec est caractéristique de sa teneur en matières actives.

Matériels : Dessiccateur à infrarouges (Fig. 24) ; Cuvette porte échantillons en aluminium ; Pipette.

A l'aide d'une pipette, on prélève une dose de 0.354g de l'adjuvant « Master Glenium 26 » et on l'étale dans la cuvette porte échantillon.



Figure 24 : L'étalement de l'adjuvant dans la cuvette de dessiccateur

La déshydratation se met en marche automatiquement dès que la balance est venue au repos puis les paramètres s'affichent sur l'écran et obtient les résultats ci-dessous :

Taux d'humidité en % du poids humide $M = 67.705\%$

Teneur en matière sèche $D = 32.295\%$

Taux d'humidité en % poids à sec $R = 209.649\%$

Poids résiduel $G = 0.114g$

❖ Mesure de pH

Cet essai permet de déterminer les recommandations pour la mesure de la valeur de pH des adjuvants.

On verse une quantité de l'adjuvant dans un tube puis on immerge l'électrode du PH et la sonde de température dans l'échantillon en attendant la stabilité et après le résultat est affichée sur l'écran (Fig. 25).

$pH = 4.6$; $T^\circ = 27.1^\circ C$



Figure25 : pH mètre

❖ Détermination de la densité

On a rempli une éprouvette avec l'adjuvant laissant 5cm du bord puis on insère le densimètre dans l'adjuvant jusqu'à ce qu'il flotte par lui-même et se stabilise (Fig. 26). Dans notre cas la densité= 1.09g/cm^3 .



Figure26 : lecture de la densité par un densimètre

2. Fabrication du BPE

2.1. Technique de la formulation de BPE

Pour obtenir la formule de béton ; il faut d'abord déterminer les caractéristiques physiques et chimiques des granulats.

Les propriétés physiques des granulats:

Pour le gravite, on doit déterminer plusieurs caractéristiques tel que :

- **PS** (propreté de sable) a des différentes valeurs selon les types de béton, par exemple un béton armé B1 $PS \leq 2\%$, B2 $PS \leq 4\%$ selon la norme NM 10.1.001.
- Coefficient d'aplatissement y compris $G/e \geq 1.58$ avec e l'épaisseur du granulat et G la grandeur du granulat selon la norme NM 10.1.021

Analyse granulométrique pour déterminer les classes granulaires selon la NM10.1.271.

Pour le sable on étudie sa propreté **ES** (équivalent de sable ?) ; par exemple le béton armé B1 $ES \geq 80\%$, B2 $ES \geq u$

Les caractéristiques chimiques des granulats :

Les résultats doivent être conformes aux valeurs ci-dessous (Tabl. 8):

Tableau8 : Précipitation concernant les substances nocives

substance	Concentration maximale (mg/l)	Méthode d'essai
Sucres	100	6.1.3
Phosphate, exprimé en P2O5	100	
Nitrate, exprimé en NO ⁻³	500	
Plomb, exprimé en Pb ²⁺	100	

Concernant l'eau de gâchage, il ne peut pas être utilisé pour la fabrication du béton s'elle ne satisfait pas aux essais de contrôles préliminaires ci-après (Tabl. 9).

Tableau 9 : Prescription et méthode d'essais pour le contrôle préliminaire de l'eau de gâchage

Prescription		Méthode d'essai
Huiles et graisses	Ne pas dépasser des traces visibles	6.1.1
Détergents	Disparition de la mousse en moins de 2 min	6.1.1
Couleur	la couleur doit être évaluée comme jaune pâle, ou plus pâle	6.1.1
Matières en suspension	Eau recyclé	A.4
	Eaux d'autres sources : sédiment max de 4ml	6.1.1
Odeur	Eau recyclé	
	Aucune odeur sauf celle autorisée pour l'eau potable et une légère odeur de ciment	
	Eaux d'autres sources	6.1.1
	Absence totale d'odeurs de sulfure d'hydrogène avant ou après l'addition d'acide chlorhydrique	
Acides	$\text{pH} \geq 4$	6.1.1
Matières humiques	Couleur brun jaunâtre ou plus pâle, après l'addition de NaOH	6.1.2

- Le dosage du ciment

Quant au dosage du ciment, il change selon les types des lieux :

Lieux non agressive $c = 500/\sqrt[5]{D} = 373\text{kg}$

Lieux apparemment fin $c = 600/\sqrt[5]{D} = 447\text{kg}$

Lieux agressive $c = 700/\sqrt[5]{D} = 522\text{kg}$ (Avec D : dimension max=20)

Après la détermination de ces caractéristiques on passe aux étapes de la formulation :

1^{ère} étape : on calcule la résistance maximale en compression du béton f_c par la relation suivante : $f_c = R_c + 15\%$; avec R_c est la résistance mécanique à 28 jours du béton. Par exemple B25 : $f_c = 25 + 15\% = 28,8 \text{ Mpa}$.

2^{ème} étape : on calcule le volume de l'eau de gâchage par la relation : $f_{c28} = f_{ce} \times G(c/e - 0.5)$. On sait que la classe vraie du ciment à 28 jours $f_{ce} = 48 \text{ MPa}$ (cpj 55) et le ciment $c = 300 \text{ kg}$ ainsi que le coefficient granulaire dans notre cas est $G = 0.55$

G : coefficient granulaire est de 0.55 à ce cas ($D_{\max} \geq 20 \text{ mm}$)

C/e : rapport ciment par rapport à l'eau

Cpj : ciment Portland composé

Remarque : le coefficient granulaire prend plusieurs valeurs selon la qualité des granulats

Dimension D des granulats	Fin ($D \leq 16 \text{ mm}$)	Moyen ($20 \leq D \leq 40 \text{ mm}$)	($D \geq 50 \text{ mm}$)
Excellent	0.55	0.60	—
Bon	—	0.50	0.55
Faible	0.35	—	0.45

Tableau 10 : les valeurs consignées des granulats

$f_{c28} = f_{ce} \times G(C/e - 0.5)$; AN : $28.8 = 48 \times 0.55(C/e - 0.5)$ alors $C/e = 1.6$ donc $e = 187.51$

3^{ème} étape : La détermination de dosage en granulats à partir du calcul des coordonnées d'OAB .On prend en considération les termes du facteur K (coefficients k_1, k_2, k_3) :

K_1 coefficient de serrage selon la qualité des granulats en fonction des roulées ou (concassés+2)

K_p c'est un coefficient de pompabilité et l'ouvrabilité du béton (avec une valeur de 5)

K_s c'est la correction du module de FINESS $M_f \geq 3$

On a $O = (x_0=0.08; y_0=0)$, $B = (x_0 = D_{max}; y_0=100\%)$, $A = (x_0=D_{max}/2; y_0= 50-\sqrt{D + K})$
 $A=(x_0=D_{max}/2; y_0=57.53)$.

Pour déterminer le dosage en granulats sur la courbe de partage, on prend 95% du premier granulat et 5% du deuxième. L'intersection de cette ligne avec **OAB** indique le dosage des granulats.

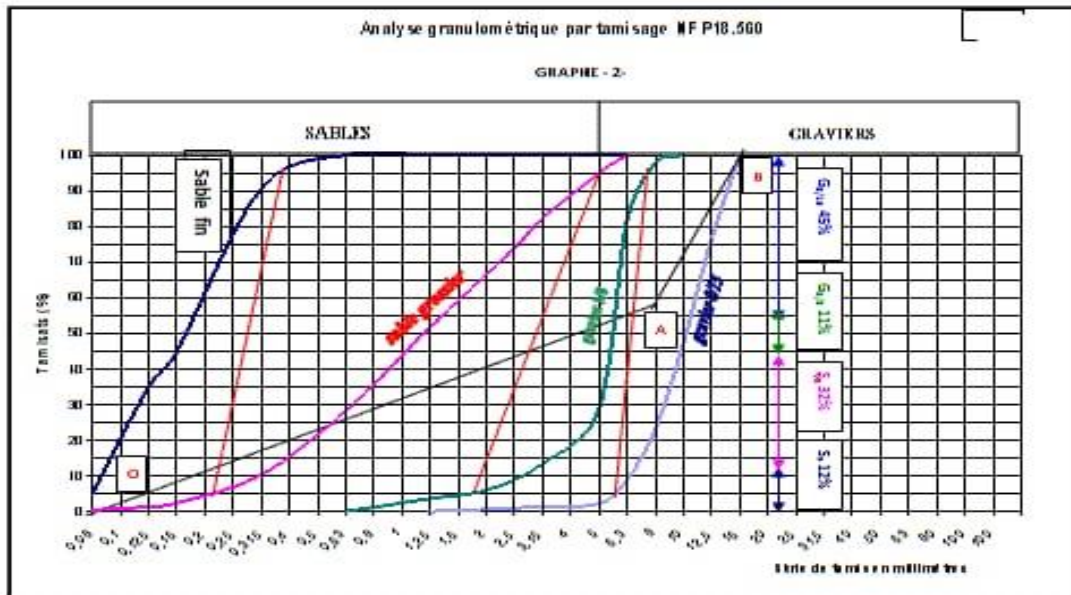


Figure 27 : Courbe de partage

$S=12\%$, $G1= 45\%$, $G2= 43\%$

4^{ème} étape : on rassemble la formule du béton.

$G+S+eau+A+cpj= 1000l$; et on sait que : $A+eau+cpj= 15l+187.5l+(300/3.1)= 299.27l$

Donc $G+S=1000-299.27= 700.73l$

On convertit le pourcentage des granulats au Kg en passant par litre et on le multiplie fois la masse volumique réel.

$$S=700.73 \times 0.12=84.08l; S=84.08 \times 2.69=226.17kg$$

$$G1=700.73 \times 0.45=315.32l; G1=315.32 \times 2.64=832.44kg$$

$$G2=700.73 \times 0.43=301.31; G2=301.31 \times 2.63=792.44kg$$

Donc : $S+G1+G2+eau+cpj=226.17+832.44+792.44+187.5+300=2338.55kg$. Le gâché doit contenir 2400kg alors on va ajouter 20kg de chaque élément granulaire.

2.2. Fabrication du BPE à l'unité centrale 1

Pour cette unité centrale, elle fabrique le béton de la manière suivante :

- Ramener la matière première du stock vers les trémies ;
- Les trémies pèsent la masse concernant pour la fabrication du type de béton demandé ;
- Après les granulats passent dans le tapis peseur arrivant au SKIP qui mène pour verser le mélange dans le malaxeur (Fig. 28);



Figure 28 : Les trémies versent dans tapis peseur

- Puis le malaxeur fait un mélange sec entre les agrégats durant 4s suivis de l'ajout du ciment, l'eau et l'adjuvant (Fig. 29).



Figure 29 : Le malaxage du béton



Figure 30 : citerne du ciment

- Ce malaxage finale dure 40sec au totale puis on obtient le béton frais prêt à la charge (Fig. 31)



Figure31: La charge de béton frais

2.3. Fabrication du BPE à l'unité centrale 2

Au sein de cette unité, le béton se fabrique selon la manière ci-dessus :

- Le camion dépose les agrégats dans la trémie primaire ; qui remonte par l'ascenseur à gaudis (Fig. 32) jusqu'à la trémie secondaire (Fig. 33).



Figure 32 : ascenseur à gaudis



Figure 33 : trémie *secondaire*

- La trémie secondaire est divisée selon les types des granulats; sa terminaison est sous forme d'un peseur automatique (Fig. 34) qui se ferme à la fin de chaque gâchée.



Figure 34 : peseur des granulats localisés dans la trémie secondaire

- Après les peseurs versent les agrégats dans le vibreur qui mène le mélange sec dans le malaxeur (4sec) (Fig. 35).



Figure 35 : tube du ciment inséré dans le malaxeur

- Ensuite, on rajoute le ciment, l'eau et l'adjuvant pour le malaxage final (Fig. 36) qui dure environ 35 à 40 secondes. On obtient le béton frais.



Figure 36 : l'eau et l'adjuvant rajoutés dans le mélange final

- ❖ Remarque : la différence entre les deux centrales concerne l'absence du tapis peseur et SKIP dans le deuxième. Ainsi la différenciation de volume du malaxeur puisque $V1_{max} = 2.5$ mètres cubes mais le volume utilisé est 1.8 mètres cubes et $V2_{max} = 3$ mètres cubes ; le convenable est 2.5 mètres cubes.

3. Réutilisation de l'eau de gâchage

Dans cette étude, l'eau de gâchage c'est elle qui vient du lavage de la citerne du camion. La séparation de l'eau du béton se déroule en deux cycles.

Dans le premier cycle, le camion vide l'eau de gâchage dans une machine qui contient des vices de circulations qui permettent de séparer une quantité du béton; le reste passe au deuxième cycle.



Figure 37 : Lavage de la citerne après livraison



Figure 38 : la première élimination des agrégats

L'eau de gâchage qui reste se verse dans une goulotte qui contient un flotteur avec détecteur (Fig. 39). Lors de son remplissage, il remonte pour démarrer la pompe qui mène l'eau au bassin.



Figure 39 : Une goulotte avec flotteur à détecteur

Le bassin contient un agitateur (Fig. 40) qui garde la liquidité du béton. Après, une pompe conduit le contenu du bassin vers une machine de pression.



Figure 40: bassin avec agitateur

La machine de pression (Fig. 41) contient un bougis qui ramène l'eau de bassin à travers les filtres qui applique une compression pour donner l'eau filtrée (Fig. 48). Les déchets tombent après la vibration.



Figure 41 : machine de pression



Figure 42 : L'eau filtrée et les déchets de compression

4. Contrôle de la qualité du produit finale

4.1. Contrôle de la résistance mécanique

a) La résistance à la compression

L'essai de compression mesure la résistance à la compression d'un matériau sur une machine d'essais mécanique suivant un protocole normalisé, dans notre cas on étudie la résistance des cylindres de B15 après 7 jours.

Les cylindres ont une masse de 12.838 kg et un volume de 5298 cm³ donc la densité $D=m/v = 12.83 \times 10^3 / 5298 = 2423.17 \text{ g/cm}^3$.

Après remplissage des cylindres par le béton 15 (Fig. 43); ils se mettent dans la salle de conservation pour sécher pendant 7 jours



Figure43 : cylindre de béton frais

Après la période de séchage, les cylindres se mettent dans la presse de compression 2000kN.

On obtient les résultats suivants (Tabl. 11) :

Tableau 11 : Les résultats de la presse de compression

Les cylindres	Cylindre 1	Cylindre 2	Cylindre 3	Cylindre 4
Force maximum(KN)	510.195	446.184	415.078	463.512
Contrainte maximum(MPa)	25.375	25.249	23.489	23.053

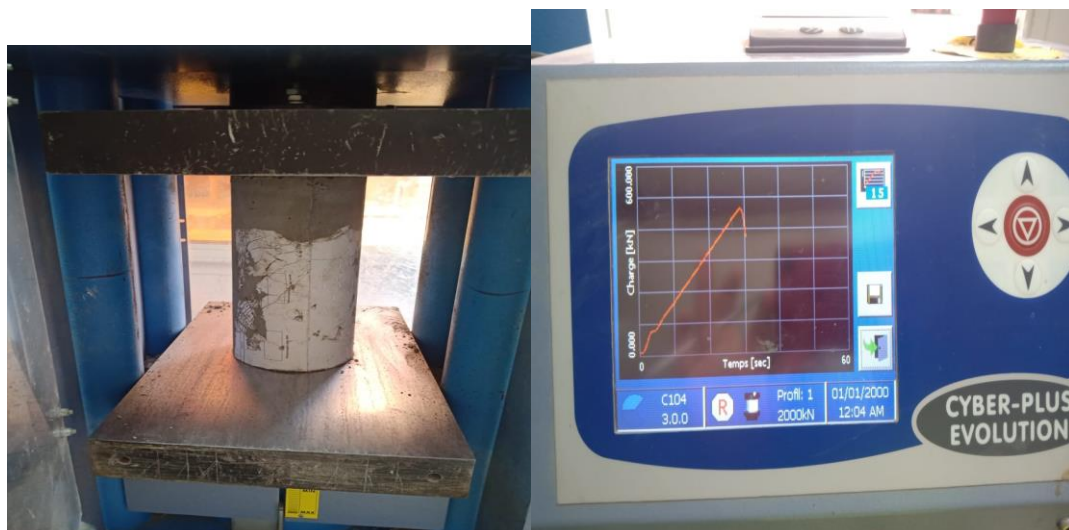


Figure 44 : la courbe obtenue par compression mécanique

la courbe démontre la résistance du cylindre lors d'application de la compression (Fig. 44). Elle augmente par rapport au temps jusqu'à sa valeur maximale. Après le cylindre perd sa résistance donc la courbe baisse de 20%.

b) La résistance à la flexion

Dans notre cas, on étudie la résistance à la flexion d'Hourdis dans une machine de 150 KN. L'Hourdis se fabrique et se conserve dans un four à température et humidité ambiantes pendant 22 jours. Après on commence le contrôle d'Hourdis par flexion et on obtient les résultats suivantes (Tabl. 12, Fig. 45) :

Tableau 12 : Les résultats de la flexion

	Hourdis 1	Hourdis 2	Hourdis 3
Force maximum(KN)	1.632	1.456	2.083
Contrainte maximum(MPa)	1.569	1.400	2.002



Figure 45 : la machine de flexion

4.2. Contrôle du béton frais

4.2.1 Contrôle de slump « essai d'affaissement au cône d'Abrams »

Le contrôle de slump détermine la classe de la consistance selon le degré d'affaissement. Pour effectuer l'essai, on prélève une quantité de béton après malaxage en toupie pendant 2min. Puis, on introduit le béton dans le cône en 3 couches chacune on la pique 25 fois avec une tige. Après on lève le moule avec précaution et on passe à la lecture de l'affaissement (Fig. 46).



Figure 46 : lecture d'affaissement au cône d'Abrams

Après on passe à la lecture de l'affaissement en mesurant le point le plus haut du béton abaissé, et on détermine la classe selon le tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : les classes de consistance

Classe de consistance	Affaissement en mm
S1	de 10 à 40
S2	de 50 à 90
S3	de 100 à 150
S4	de 160 à 210
S5	≥ 220

Remarque : l'augmentation des classes informe aussi sur l'élévation de fluidité : S5 est plus fluide que S4 et ainsi de suite.

4.2.2 Contrôle de béton sur chantier

Ce contrôle a pour but de garder la fluidité du béton frais durant son transport (Fig. 53). Selon les demandes des clients, il faut toujours prendre en considération le trajet et le temps de la livraison. Par exemple, si le client veut la classe S1, la préparation dans l'usine sera S2.



Figure 47: béton frais

Conclusion

Le contrôle de la matière première du béton porte principalement sur le contrôle à la fois des granulats et des adjuvants.

Le contrôle des granulats nécessite la connaissance d'un certain nombre des caractéristiques physiques :

- Analyse granulométrique AG;
- La propreté superficielle PS;
- L'équivalent de sable ES;

Le contrôle des adjuvants vise:

- La détermination de son extrait sec;
- La mesure de son PH;
- Le calcul de sa densité.

La confection de béton prêt à l'emploi (BPE) nécessite une technique de formulation qui tient compte:

Des caractéristiques physiques et chimiques des granulats; et du dosage du ciment.

Elle se déroule en quatre étapes successives:

- 1 - calcule de la résistance mécanique du béton;
- 2- calcule du volume d'eau de gâchage;
- 3- dosage en granulat;
- 4- rassemblement de la formule.

Listes des ANNEXES

ANNEXES 1

Unités	Spécialités	Figures
OMAG (Unité 1)	C'est une presse automatique allemande de marque OMAG. Elle assure la production de pavés, de bordures, de trottoirs et caniveaux	
LIBHERR (Unité 2)	C'est une centrale pour béton prêt à l'emploi de constructeur allemand, commandée par automate. Sa capacité de production est 90 m ³ /H. Elle offre une gamme précise de bétons *B1-B2-B3-B4-B5 *Béton hydrofuge *Béton teinté	
OTEP (Unité 3)	C'est une unité de production de poutrelle précontrainte pour plancher préfabriqué	

QUADRA (Unité 4)	C'est une unité de production d'aggloméré (Agglos) de différentes dimensions	
STETTER (Unité 5)	Centrale de marque STETTER produit le BPE, mais avec une capacité supérieure de 180 m3/H, ce qui la place comme la plus grande centrale à béton au Maroc et la cinquième de son genre au monde	
BIBKO (Unité 6)	Cette unité installée en Aout 2007, est destinée au lavage des camions qui font le transport du béton prêt à l'emploi avec un procédé qui permet la filtration et le recyclage de l'eau chargée des résidus de béton	
QUADRA (Unité 7)	C'est une unité de production d'hourdis de différentes dimensions	

Tableau 14 : Présentation des unités de productions de Ménara préfa

LISTE DES REFERENCES

- ❖ Patrick Guidaud : 2012.
- ❖ Jean-Michel : le 22 mai 2021.
- ❖ Michel SAS : 2008.
- ❖ La protection incendie par les constructions en béton, FEBELCEM, avril 2006.
- ❖ Modèle de cours béton préfabriqué, FEBE : mai 2012.
- ❖ La plateforme d'information de l'industrie cimentière française : 2011.
- ❖ « Admixtures » [archive], 14 juin 1999 (consulté le 25 janvier 2007)
- ❖ « Admixture Types » [archive] (consulté le 25 décembre 2010)
- ❖ Matthias David : 2010.
- ❖ Le SYNAD, affilié à l'UNICEM : 2006.
- ❖ Holcim Belgique : 2012.
- ❖ Jonathan Watts : 2015.
- ❖ Simon Bernard- Grenoble Ecole de Management
- ❖ La plateforme d'information de l'industrie cimentière française :2008.
- ❖ INS-LAB-004
- ❖ FE-LAB-005