

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE CIVIL

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE CIVIL

Spécialité : MATERIAUX EN GENIE CIVIL

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Mise en conformité de la centrale à béton SARL EL-AMEL  
selon la norme 16002

Présenté par : AMRANI Amal

Encadrant : KEBAILI Bachir

Grade : MCA

Université Badji Mokhtar

Jury de Soutenance :

President	Université Badji Mokhtar Annaba	MCA	Ali Boucetta
Encadrant	Université Badji Mokhtar Annaba	MCA	Kebaili Bachir
Co-encadrant	Université Badji Mokhtar Annaba	PR	Behim Mourad
Examination	Université Badji Mokhtar Annaba	MCA	Kelifi Walid

Année Universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail. Ensuite, nous remercions nos parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continuerons à nous aider dans tous les projets de l'avenir, ma mère Ma profonde reconnaissance pour le soutien qu'ils m'ont apporté en toute circonstance, ainsi que pour leur patience et leur amour qui sont la ressource de ma réussite et qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans mes différents choix . Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, docteur KEBAILI BACHIR , qui a supervisé mon encadrement du début à la fin, pour sa grande patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter ma flexion et je prie Dieu qu'il soit couvert par la santé et le bien-être

Je remercie également mon Co-encadreur professeur BEHIM MOURAD qui m'a tant soutenu, et qui a apporté son aide et ses conseils au cours de ce travail sans oublier tous mes professeurs pour leurs aides précieuses Je remercie tous les enseignants de mon cursus universitaire qui ont contribué à ma formation.

Je tiens également à remercier toute l'équipe du département de Génie Civil : enseignants, personnels administratifs et techniques,

Un très grand merci à toute ma famille, et plus

Pour finir, j'adresse mes remerciements à tous mes amis, pour

*leurs encouragements et leur soutien moral. Sans oublier mes amies de ma promotion et toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail*

*Merci*

# Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction général

I.INTRODUCTION .....	<u>1</u>
I.1.    LA NORME NA-16002. ....	<u>1</u>
I.2.    STAGE.....	<u>6</u>
I.2.1. Situation : .....	<u>6</u>
I.2.2. Organisation .....	<u>6</u>
I.2.3. Granulats origine et nombre de source.....	<u>6</u>
I.2.4. Type de central .....	<u>6</u>
I.2.5. Capacité de production.....	<u>6</u>
I.2.6. Formulation théorique .....	<u>7</u>
I.2.7. Production moyenne annuelle .....	<u>8</u>
I.3.    CONSTAT : .....	<u>9</u>
I.3.1. Respect de la formulation.....	<u>9</u>
I.3.2. Etat des granulats et contrôle .....	<u>9</u>
I.3.3. Source des granulats.....	<u>9</u>
I.3.4. Essais sur béton frais et durci .....	<u>9</u>
I.3.5. Type de commande faite .....	<u>9</u>
I.3.6. Transport du béton .....	<u>9</u>
I.3.7. Mise en place.....	<u>10</u>
I. 4.    TYPES DE BETON AU SENS DE LA NORME NA 16002.....	<u>10</u>
I.4.1. Les Bétons à Propriétés Spécifiées (BPS).....	<u>10</u>
I.4.1.1. Classes d'exposition des bétons .....	<u>10</u>
I.4.1.2 Classe de consistance.....	<u>12</u>
I.4.1.3. Classes de résistance à la compression .....	<u>13</u>
I.4.2. Les bétons à composition prescrite (BCP) .....	<u>14</u>
I.4.3. Les Bétons à Composition Prescrite dans une Norme (BCPN) .....	<u>14</u>
I.5.    Béton a propriété spécifiées près à l'emploi (BPS-PE) .....	<u>15</u>
I.5.1. Avantages du béton prêt à l'emploi.....	<u>16</u>
I.5.2. Inconvénients du béton prêt à l'emploi .....	<u>16</u>
I.5.3. Applications .....	<u>16</u>
I.6.    CONSTITUANTS DES BETONS .....	<u>17</u>
I.6.1    Le ciment .....	<u>17</u>

I.6.1.1.Types de ciments .....	<u>17</u>
I.6.1.2.Classes de résistances .....	<u>18</u>
I.6.2.Les granulats .....	<u>19</u>
I.6.2.1 Selon leur provenance .....	<u>19</u>
I.6.2.2 Selon la forme .....	<u>19</u>
I.6.2.3 Selon les dimensions .....	<u>20</u>
I.6.3. L'eau de gâchage.....	<u>20</u>
I.6.4. Les adjuvants.....	<u>20</u>
I.6.5. Additions pour béton.....	<u>21</u>
I.7. SPECIFICATIONS DES BPE .....	<u>21</u>
I.7.1. Classes des masses volumiques .....	<u>22</u>
I.7.2 Valeurs limites spécifiées par la classe d'exposition applicables à la composition et aux propriétés des bétons. ....	<u>22</u>
I.8. FABRICATION DU BETON.....	<u>22</u>
I.8.1. CENTRALE A BETON.....	<u>22</u>
I.8.1.1. Les principaux équipements d'une centrale à béton .....	<u>23</u>
I.8.1.1.1. Box de stockage des granulats : .....	<u>23</u>
I.8.1.2. Silo à ciment.....	<u>23</u>
I.8.1.3 Balances .....	<u>24</u>
I.8.1.4. Réservoir d'eau .....	<u>25</u>
I.8.1.5. Malaxeur.....	<u>25</u>
I.8.1.6. Panneau de commande .....	<u>26</u>
I.9 FABRICATION DU BPE DANS UNE CENTRALE.....	<u>27</u>
I.9.2. Réception et stockage des matières premières : .....	<u>27</u>
I.9.2.1 Préparation de la gâchée :.....	<u>27</u>
I.9.2.2 Malaxage .....	<u>28</u>
I.9.2.3. Contrôle de la plasticité du béton:.....	<u>28</u>
I.9.2.4. Déchargement du malaxeur.....	<u>29</u>
I.9.2.5. Edition du bon de livraison .....	<u>29</u>
I.9.3. TRANSPORT DU BPE .....	<u>29</u>
I.9.4. MISE EN ŒUVRE.....	<u>29</u>
I.9.5. Coulage du béton par pompage.....	<u>30</u>
II.1. INTRODUCTION .....	<u>31</u>
II.2. PROBLEMATIQUE .....	<u>32</u>
II.3. MATERIAUX UTILISE :.....	<u>33</u>
II.3.1. Type de ciment :.....	<u>33</u>
II.3.1.1 Détermination De La Finesse Du Ciment (Norme NF 196-6 Tamisages).....	<u>34</u>

II.3.1.2 Essai sur ciment : .....	<u>34</u>
II.3.2. Granulats pour béton .....	<u>36</u>
II.4. Caractéristiques Essentielle D'acceptabilité .....	<u>36</u>
II.4.1. Essai Micro Deval .....	<u>36</u>
II.4.2. Essai Los Angeles .....	<u>38</u>
II.4.3. Essai De Propreté Des Granulats (P18-591) .....	<u>39</u>
II.5. CARACTERISTIQUES PHYSIQUE .....	<u>40</u>
II.5.1. Essai Analyse Granulométrique d'un Sable et d'un Gravier (NF En 933-1) .....	<u>40</u>
II.5.2. Module De Finesse Mf (NF P18-540) .....	<u>40</u>
II.5.3. Essai Coefficient D'aplatissement EN12350-2 .....	<u>41</u>
II.5.3 Essai la Masse Volumique Apparente NF EN 1097-6 .....	<u>41</u>
II.5.4. Masse Volumique Absolue NF EN 1097-3 .....	<u>41</u>
II.5.5. Absorption D'eau .....	<u>43</u>
II.5.6. Equivalent De Sable (NF P 18-598) .....	<u>43</u>
II.6. ESSAI SUR BETON FRAIS .....	<u>44</u>
II.6.1. Utilisation d'adjuvants plastifiant .....	<u>45</u>
II.7. ESSAI SUR BETON DURCI .....	<u>45</u>
II.7.1. Essai De Résistance En Compression Su Béton .....	<u>45</u>
II.8 RESULTATS ET ANALYSES .....	<u>48</u>
II.8.1 Résultat Essai Sur Ciment : .....	<u>48</u>
II.8.2 Résultat Essai Sur Granulats .....	<u>48</u>
CHAPITRE. III .....	<u>52</u>
FORMULATION DES BETONS .....	<u>52</u>
III.1. INTRODUCTION : .....	<u>53</u>
III.2. METHODE DE DREUX-GORISSE .....	<u>54</u>
III.2.1. Les Etapes Pratiques .....	<u>54</u>
III.2.2. Critère de Résistance : .....	<u>54</u>
III.2.3. Détermination du rapport C/E .....	<u>54</u>
III.2.4. Coefficient Granulaire G' .....	<u>55</u>
III.2.5. Détermination du dosage d'un Ciment .....	<u>55</u>
III.2.6. Détermination du mélange optimal à compacité maximale .....	<u>56</u>
III.2.7. Tracé de la droite de référence de Dreux : .....	<u>56</u>
III.2.8. Détermination de la composition optimale du béton .....	<u>57</u>
III.2.9. Détermination de la compacité absolue du béton .....	<u>58</u>
III.2.10. Corrections de la formulation théorique de béton .....	<u>60</u>
III.2.11 Essai de convenance .....	<u>60</u>
III. 3.COMPOSITIONS RESULTATS ET ANALYSES .....	<u>60</u>

IV.1. MATERIAUX	IV.2. FORMULATION DES BETONS.....	67
IV.2.	FORMULATION DES BETONS.....	67
IV.3.	RODUCTION DU BETON.....	67
IV.4.	INSPECTIONS ET ESSAIS .....	68
IV.5.	PERSONNELS.....	68
IV.6.	BON DE COMMANDE.....	68
IV.7.	BON DE LIVRAISON .....	68
IV.8.	CONCLUSION.....	69

## LISTE DES FIGURE

<b>Figure I.1</b> : Centrale à béton Sarl El Amel.....	2
<b>Figure I.2.</b> Auscultation dynamique confirmant la qualité médiocre.....	3
<b>Figure I.3.</b> Renforcement de poteau.....	4
<b>Figure I.4.</b> Renforcement de poutres.....	4
<b>Figure I.5.</b> Renforcement des fondations pour mauvaise qualité des bétons .....	5
<b>Figure I.6.</b> Démolition d'une dalle en béton armé .....	5
<b>Figure I.7.</b> Zones de stockages des granulats .....	6
<b>Figure I.8.</b> Malaxeur axe vertical .....	7
<b>Figure I.9.</b> Formulations aléatoire faite par la centrale à béton.....	8
<b>Figure I.10.</b> Transport et mise en place du béton par pompe girafe.....	8
<b>Figure I.11.</b> Malaxeur.....	10
<b>Figure I.12.</b> Organigramme des classes d'expositions. ....	11
<b>Figure I.13.</b> Pompe girafe.....	15
<b>Figure I.14.</b> Pompe stationnaire .....	15
<b>Figure I.15.</b> Pompe injection sous pression .....	16
<b>Figure I.16.</b> Pré-stockage des granulats dans des box.....	23
<b>Figure I.17.</b> Silos à ciment .....	24
<b>Figure I.18.</b> Camion cocotte .....	24
<b>Figure I.19.</b> Balance de pesage.....	24
<b>Figure I.20.</b> Local à adjuvant .....	25
<b>Figure I.21.</b> Pompes .....	25
<b>Figure I.22.</b> Réservoir d'eau .....	25
<b>Figure I.23.</b> Malaxeur a axe vertical .....	26
<b>Figure I.24</b> : Panneau de commande .....	26
<b>Figure I.25</b> : Schéma de principe d'une centrale à béton.....	27
<b>Figure I.26</b> : Ampèremètre de fonctionnement du malaxeur .....	28
<b>Figure I.27</b> : Skip d'alimentation du malaxeur .....	28
<b>Figure I.28</b> : Bon de livraison .....	29

<b>Figure II.1</b> : Centrale à béton.....	35
<b>Figure II.2</b> : Début-fin de prise.....	35
<b>Figure II.3.</b> Essai de consistance.....	35
<b>Figure II.4.</b> Début-fin de prise .....	35
<b>Figure II.5.</b> Machine Micro-Deval.....	37
<b>Figure II.6.</b> Los Angeles .....	<b>38</b>
<b>Figure II.7.</b> Grille .....	41
<b>Figure II.8.</b> Masse volumique apparente.....	42
<b>Figure II.9.</b> Équivalent de sable .....	44
<b>Figure II.10.</b> Cône d'Abrams .....	45
<b>Figure II.11.</b> Presse de compression du béton .....	46
<b>Figure III.1.</b> Relation rapport C/E, dosage et affaissement. ....	56
<b>Figure III.2:</b> formulation 01 .....	62
<b>Figure III.3</b> : Formulation 02. ....	64
<b>Figure III.4:</b> Formulation 03.....	<b>65</b>
<b>Figure III.5.</b> formulation03 .....	66

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> : Formulation TEKNA CHEM .....	7
<b>Tableau I.2</b> : Classe d'exposition carbonatation.....	12
<b>Tableau I.3</b> : Classes de consistance .....	12
<b>Tableau I.4</b> : Types d'ouvrages et classe de consistance correspondante .....	13
<b>Tableau I.5</b> : Classe de résistance à la compression .....	13
<b>Tableau I.6</b> : Teneur en volume des composants du béton .....	17
<b>Tableau I.7</b> : Valeurs minimale garantie de la résistance en compression des ciments ....	19
<b>Tableau I.8</b> : Type de béton en fonction de la masse volumique .....	22
<b>Tableau I.9</b> : Valeurs limites spécifiées applicables à la composition et aux propriétés du béton .....	22
<b>Tableau II.1</b> : Formulation du laboratoire TEKNACHEM .....	31
<b>Tableau II.2</b> : Formulation de centrale à béton.....	32
<b>Tableau II.3</b> : La charge abrasive .....	37
<b>Tableau II.4</b> : Classification des granulats .....	38
<b>Tableau II.5</b> : Nombre de boule .....	<b>39</b>
<b>Tableau II.6</b> : Valeurs du coefficient.....	39
<b>Tableau II.7</b> : Module de finesse .....	41

<b>Tableau II.8</b> : Equivalent de sable .....	44
<b>Tableau II.9</b> : Résultat essai sur ciment .....	48
<b>Tableau II.10</b> : Caractéristiques physiques .....	49
<b>Tableau II.11</b> : Coefficient d'aplatissement .....	50
<b>Tableau III.1</b> : Valeurs de G' en fonction des dimensions et qualités des granulats .....	55
<b>Tableau III.2</b> : Correction sur le dosage de pâte en fonction de $D_{max}$ . .....	56
<b>Tableau III.3</b> .Valeur du paramètre K donné par Dreux. ....	57
<b>Tableau III.4</b> : Compacité du béton en fonction de $D_{max}$ , de la consistance et du serrage.	59
<b>Tableau III.5</b> :Formulation01 .....	61
<b>Tableau III.6</b> : Le coefficient k .....	61
<b>Tableau III.7</b> : Pourcentage de la formulation F01 .....	63
<b>Tableau III.8</b> : Pourcentage de la formulation F02 .....	63
<b>Tableau III.9</b> : Mélange de Mf .....	64
<b>Tableau III.10</b> : Formulation 03 .....	65
<b>Tableau III.11</b> : Résistance à la compression .....	66

## **Résumé**

Lors de mon stage dans une centrale à béton, j'ai eu l'opportunité de découvrir de près le processus de production du béton, ainsi que les différentes activités et responsabilités liées à son fonctionnement. Ce stage m'a permis d'acquérir une expérience pratique précieuse dans ce domaine.

J'ai pu aussi apprendre les étapes clés de la fabrication du béton, depuis la réception des matières premières, tels que les granulats et le ciment, jusqu'à la préparation du mélange. J'ai également découvert l'importance du dosage des composants du béton, ainsi que l'utilisation d'adjuvants pour améliorer certaines propriétés du matériau.

J'ai été amenée à collaborer avec des techniciens et des opérateurs. J'ai pu assister à la surveillance et au contrôle de la qualité du béton à différentes étapes, jusqu'à sa mise en place par pompe girafe, aussi en réalisant des essais sur béton frais, tels que la consistance et la masse volumique, ainsi que des essais sur le béton durci, tels que la résistance à la compression.

Ce stage m'a permis de comprendre l'importance de la rigueur, de la précision et du respect des normes de qualité dans la production du béton surtout la norme NA 16002. J'ai également développé mes compétences de laboratoire en matière d'analyses des différents composants du béton de formulation des bétons, aussi à la communication et au travail d'équipe.

En résumé, mon stage dans une centrale à béton m'a offert une expérience concrète et enrichissante dans le domaine de la production du béton. J'ai acquis des connaissances pratiques sur le processus de fabrication, les contrôles de qualité et les opérations quotidiennes, ce qui a renforcé ma passion pour ce domaine et permis de développer des compétences essentielles pour ma future carrière.

## **Summary**

During my internship at a concrete plant, I had the opportunity to closely observe the concrete production process and the various activities and responsibilities associated with its operation. This internship provided me with valuable applied experience in this field.

I learned about the key stages of concrete manufacturing, from the receipt of raw materials such as aggregates and cement, to the preparation of the mix. I also gained an understanding of the importance of accurately dosing the concrete components and the use of admixtures to enhance certain properties of the material.

I collaborated with technicians and operators during my time at the concrete plant. I assisted in monitoring and controlling the quality of concrete at different stages, including its placement using a concrete pump. I also conducted tests on fresh concrete, such as consistency and density, as well as tests on hardened concrete, such as compressive strength.

This internship helped me knowledge the significance of rigor, precision, and observance to quality standards in concrete production, especially in accordance with the NA 16002 standard. It also allowed me to develop my laboratory skills in analyzing various concrete components

and formulating concrete mixes, as well as improving my communication and teamwork abilities.

In summary, my internship at a concrete plant provided me with real and enriching experience in the field of concrete production. I gained practical knowledge of the manufacturing process, quality controls, and daily operations, which further fueled my passion for this field and enabled me to develop essential skills for my future career.

## الملخص

أثناء تدريبي في مصنع للخرسانة، كانت لدي فرصة لاكتشاف عملية إنتاج الخرسانة عن قرب، بالإضافة إلى الأنشطة والمسؤوليات المختلفة المرتبطة بتشغيله. هذا التدريب قدم لي خبرة عملية قيمة في هذا المجال.

تعلمت خلال فترة التدريب عن المراحل الرئيسية لتصنيع الخرسانة، بدءًا من استلام المواد الخام مثل الركام والأسمنت، وصولاً إلى إعداد الخليط. كما اكتسبت فهمًا لأهمية توزيع المكونات بشكل دقيق واستخدام المواد المساعدة لتحسين بعض الخصائص الخاصة بالمواد.

تعاونت مع فنيين ومشغلين خلال فترة تواجدي في مصنع الخرسانة. ساعدت في مراقبة ومراقبة جودة الخرسانة في مراحل مختلفة، بما في ذلك تركيبها باستخدام مضخة الخرسانة. أجريت أيضًا اختبارات على الخرسانة الطازجة، مثل مرونتها وكثافتها، بالإضافة إلى اختبارات على الخرسانة المتصلبة، مثل قوة الضغط.

ساعدني هذا التدريب على فهم أهمية الدقة والتركيز والالتزام بمعايير الجودة في إنتاج الخرسانة، خاصةً وفقًا للمعيار كما ساعدني على تطوير مهاراتي في المختبر في تحليل مكونات الخرسانة المختلفة وصياغة خلطات الخرسانة، بالإضافة إلى تحسين مهارات التواصل والعمل الجماعي.

في الختام، قدم لي التدريب في مصنع الخرسانة تجربة عملية قيمة ومثمرة في مجال إنتاج الخرسانة.

**CHAPITRE I :**  
**INTRODUCTION A LA NORME**  
**1 6002 SPÉCIFICATION**  
**PERFORMANCE PRODUCTION ET**  
**CONFORMITÉ**

## I.INTRODUCTION

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde pour la réalisation de divers types de construction avec un volume de 6 milliards de m<sup>3</sup> par an [1].

Le béton est un mélange de sable, de gravier, de ciment et d'eau, mis dans des proportions optimales, éventuellement d'additions et d'adjuvants qui peuvent être incorporés pendant le malaxage pour améliorer ou modifier certaines propriétés.

Aujourd'hui le béton est principalement fabriqué dans des centrales à béton définit comme béton prêt à l'emploi (BPE). On compte plus de 20 centrales, à ANNABA permettant de disposer d'une centrale dans un rayon maximum de moins d'une heure de route de tout chantier. Le débit des centrales est compris entre 30 et 150 m<sup>3</sup> par heure [2]. Les centrales BPE livrent sur les chantiers des bétons qui en grande majorité seront mise en place par pompage.

### I.1. LA NORME NA-16002.

Norme adoptée en 2004 modifiée et mise en application le 13/11/2007 par l'institut algérien de normalisation IANOR.

Une norme représente une référence. Elle doit être approuvée en amont par l'organisme de normalisation reconnu ensuite mise en application.

Cette norme est en grande partie tirée de EN 206-1 qui est une européenne norme datant de l'année 2000 modifiée en 2013.

La norme dévoile le rôle de tous les intervenants sur un chantier :

- ✓ Le prescripteur, celui qui formule le béton, le laboratoire.
- ✓ Le producteur, la centrale à béton.
- ✓ L'utilisateur, le maitre d'ouvrage.

Cette norme fait référence aux règles algériennes qui traitent du béton armé à savoir les règles de calcul de béton armé CBA.93 (BAEL.91), le règlement parasismique algérien le RPA.99 et le DTR.21 règles d'exécution des ouvrages en béton armé.

Cette norme est destinée aux bétons de structures coulés sur place, ou préfabriquées, pour des ouvrages de génie civil de bâtiments ou autres.

Cette norme traite de la Spécification, la performance, la production et la conformité des bétons.

Dans notre stage qui a eu lieu dans la centrale à béton SARL EL AMEL situé à la zone industrielle Meboudja d'El Hadjar wilaya d'Annaba, nous nous sommes intéressés à l'inspection et à la mise en conformité de cette centrale.



**Figure I.1:** Centrale à béton Sarl El Amel.

Cette mise en conformité à la norme NA.16002 2007 traite des éléments suivants :

- ✓ Des constituants des bétons.
- ✓ Des propriétés des bétons frais et durci ainsi que de leur vérification.
- ✓ De la définition et limitation des formulations de béton
- ✓ De la spécification des bétons
- ✓ Du transport et mise en place des bétons
- ✓ De la production et de la procédure de contrôle.
- ✓ Du critère d'évaluation et de conformité.

A travers cette norme qui n'a pas fait l'objet d'une diffusion pour application les centrales en Algérie sont gérées d'une façon traditionnelle qui ne cesse de causer des défaillances majeures dans la bonne exécution des ouvrages. Surtout dans le bâtiment ou des anomalies de béton conduisent à des effets désastreux.

La norme Parasismique la plus exigeante en terme de béton considère qu'en deçà de 20MPa c'est-à-dire une classe minimale de C20/25 aucune classe inférieure n'est autorisé quel que soit les vérifications.

Beaucoup d'ouvrages ont eu des résultats d'écrasement sur béton durci non conforme aux normes surtout dans les logements individuel ou aucune exigence n'est requise, ou dans les

bâtiments sociaux dont un nombre important de bâtiments n'ont pas été livrés à cause de ces défaillances.

**AUSCULTATION DYNAMIQUE**

**CHANTIER:** MOSQUEE [REDACTED] R-W- ANNABA

**CLIENT :** ASSOCIATION RELIGIEUSE DES MOSQUEES

**DATE D'INTERVENTION :** 05/02/2020

DESIGNATION DE L'OUVRAGE AUSCULTE	SEMELLE N3		SEMELLE N4		SEMELLE N5	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Vitesse de propagation (m/s)	3333	3315	3670	3734	2479	2469
Ecart des sondes (cm)	30.0	30.5	34.5	31.0	30.0	32.0
Temps de propagation ( $\mu$ s)	90.0	92.0	94.0	83.0	121.0	129.6
R/C en corrélation avec Is (en bar)	<b>120</b>	<b>118</b>	<b>152</b>	<b>164</b>	<b>105</b>	<b>105</b>

Le Chef de Service  
K. BOUZENZEN

Le Chef de Département Contrôle  
W. HARIZI

**Figure I.2:** Auscultation dynamique confirmant la qualité médiocre.

Dans ce cas de figure une procédure systématique est mise en place avec les services de contrôle du CTC « contrôle technique de construction » et le bureau de suivi afin de dégager des solutions à ces défaillances.

Deux solutions sont en générale adoptées :

Soit le renforcement des structures, ce qui est onéreux et long à entreprendre causant un surcoût de l'édifice avec des adaptations architecturales anormales tel le cas de poteaux.



**Figure I.3 :** renforcement de poteau.

Ces renforcements peuvent aussi toucher des planchers ce qui causes des effets sur les retombées réduisant ainsi les hauteurs d'étages.



**Figure I.4 :** renforcement de poutres.

Des fois même au niveau de l'infrastructure, ce qui est très compliqué et onéreux.



**Figure I.5 :** renforcement des fondations pour mauvaise qualité des bétons

Dans d'autres cas plus graves une démolition pur et simple ce qui engendrera une multiplication de coût et des retards dans l'exécution de ces ouvrages.



**Figure I.6 :** démolition d'une dalle en béton armé.

L'application de cette norme de mise en conformité permettra certainement de remédier à ce type de situation délicat et de développer des bétons plus performants tels que les BHP et les autoplaçants, qui sont à la mode aujourd'hui.

## I.2. STAGE

### I.2.1. Situation :

Notre stage a été effectué dans la centrale à béton SARL EL AMEL située à la zone industrielle Meboudja El Hadjar Annaba.

### I.2.2. Organisation

D'une organisation simple constituée de 04 zones de stockage des granulats, granulats 3/8 mm, 8/15 mm et 15/25 mm ainsi que du sable de carrière concassé 0/5 mm. Elle est composée de deux silos à ciment de 200 tonnes chacun, de 04 trémies pour 04 granulométries, supportant un réservoir d'eau et un réservoir pour adjuvant, pouvant ainsi être très compétitive. Elle est commandée par ordinateur à l'intérieur d'une cabine d'acquisition pour le pesage et le chargement des différents constituants dans le malaxeur par Skip.



**Figure I.7 :** Zones de stockages des granulats

### I.2.3. Granulats origine et nombre de source

Les granulats sont fournis en fonction de la disponibilité de deux carrières différentes utilisant uniquement des sables concassés.

Une installation d'eau est mise en place au niveau de la zone de stockage des granulats pour assurer le lavage lorsqu'ils sont impropre.

### I.2.4. Type de central

De marque Liebherr elle est fixe, équipé de capteur d'humidité au niveau des trémies pouvant faire une correction automatique en tenant compte de la quantité d'eau existante avec une alimentation en granulats de type skip plus rapide.

### I.2.5. Capacité de production

Elle a une capacité de 40m<sup>3</sup>/heures, elle est considérée comme moyenne (15-150) m<sup>3</sup>/h, de par son volume. Elle est équipée d'un malaxeur à axe vertical plus performant de 0.75m<sup>3</sup> de capacité.



**Figure I.8 :** Malaxeur axe vertical

### I.2.6. Formulation théorique

Lors du début de fonctionnement, une étude de formulation est obligatoire, elle a été élaboré par le laboratoire des travaux public (TEKNACHEM) mais d'aucune utilité technique si ce n'est que formelle, pour un dossier technique purement administratif, fourni en cas de demande des organismes de contrôles.

**Tableau I.1 :** Formulation TEKNACHEM

Désignation	QTE. kg/m <sup>3</sup>	25 Litres	Provenance
Sable 0/1	219	5,48	
Sable 0/3	568	14,15	
Gravier 3/8	239	5,98	
Gravier 8/15	589	14,73	
Gravier 15/25	229	5,73	
Ciment CPJ 42,5	350	8,75	
SUPERIOR 527 (1%)	3,5	0,09	TEKNACHEM
Eau	165	4,13	A,E,P

Durant notre présence en stage l'opérateur était seul responsable de la qualité, la composition a été faite sur une base d'expérience sans aucune assistance de personnels professionnels. Il n'y avait aucune correspondance avec la formulation fournie par le laboratoire TEKNACHEM.

The screenshot shows a control panel for a concrete batching plant. The main window displays a dosage recipe for 'POMPE' (pump) with ID 3999 and production ID 12134. The recipe is for a volume of 7,00m³ = 7 \* 1,000m³. The start time is 21.03.2023 09:43:20 and the end time is 21.03.2023 09:53:13. The recipe is divided into 6 batches (gâchée) with varying proportions of water (EAU) and cement (CEM2). The table below summarizes the data from the screenshot:

gâchée	D/4	3/8	8/15	EAU	CEM2	tem mal
1	810,0(-14)	260,9(+0,3)	749,4(-0,63)	148,8(-0,19)	350,1(+0,08)	28,5
2	834,0(+9,96)	276,4(+1,59)	749,4(-0,63)	146,4(-0,57)	349,9(-0,08)	31,2
3	826,4(+2,99)	282,2(+2,2)	751,3(+1,89)	147,3(+0,28)	349,0(-0,95)	31,1
4	830,2(+6,16)	277,1(+2,85)	751,3(+1,89)	147,0(0)	351,7(+1,72)	38,8
5	815,0(-8,97)	282,8(+2,83)	751,3(+1,26)	177,9(+0,35)	348,5(-1,46)	21,0
6	828,9(+4,91)	276,7(+0,29)	749,4(-1,89)	178,9(+0,1)	351,8(+1,59)	30,7

Additional data from the screenshot:

- Water (Wat): 0 kg
- Admix: -0,05 kg
- CEM2: 2 kg
- min=10kg, max=500kg
- min=5kg, max=250kg
- min=0,4kg, max=25kg
- 04 0,0% 3/8 0,0%
- 15/25 0,0% 8/15 0,0%
- Corr. dos. eau +1,7
- Densité kg... 1,08

Figure I.9 : Formulations aléatoire faite par la centrale à béton

### I.2.7. Production moyenne annuelle

La production annuelle de cette centrale est de l'ordre de 12.000 m<sup>3</sup>, le béton est livré par 04 malaxeurs de 06 à 08 m<sup>3</sup>. Lorsque la commande est importante il fait appel à la location de malaxeurs. La mise en place des bétons est faite par dans la majorité des cas par pompage, rarement par godet à béton. Cette mise en place du béton nécessite un béton pompable de consistance S4, d'affaissement entre 16 et 21 cm.



Figure I.10 : Transport et mise en place du béton par pompe girafe.

### **I.3. CONSTAT :**

Ce stage nous a donné la possibilité de se rapprocher de la fabrication réelle des bétons, ce qui nous a permis aussi de comprendre le fonctionnement d'une centrale à béton ainsi que sa gestion. Les constatations et conclusions suivantes ont été très importantes afin de comprendre les différents aspects théoriques et pratiques.

Ainsi on a pu conclure ce qui suit :

#### **I.3.1. Respect de la formulation**

Au niveau de la centrale les formulations sont sauvegardé dans un système d'acquisition de données, la formulation fourni n'est pas respectée, l'opérateur décide en fonction de la qualité du béton obtenu lors du déversement dans les malaxeurs, des changements inopinés sont opérés en variant les dosages de tous les constituants uniquement par examen visuel sans aucun contrôle du béton frais. Aucun essai n'est établi, ni la mesure d'affaissement, ni l'aspect du mélange obtenu.

#### **I.3.2. Etat des granulats et contrôle**

Il n'y a aucun système de contrôle pour connaître l'état des granulats, ni la propreté ni la granulométrie. Après déchargement et voyant que les granulats sont impropres un lavage sur le tas est appliqué par déversement d'eau de la conduite d'eau installée.

#### **I.3.3. Source des granulats**

Les granulats sont extraits de la région de Guelma en majorité des roches calcaires. Deux carrières servent d'approvisionnement pour la centrale, aucune donnée n'est enregistrée sans aucune caractéristique.

#### **I.3.4. Essais sur béton frais et durci**

Comme on vient de le mentionner seul des essais d'écrasements sont faits irrégulièrement, aucune statistique n'est élaborée, ni suivi de la qualité.

C'est des bétons prêts à l'emploi, n'obéissant à aucune norme si ce n'est la résistance sur béton durci qui reste le seul paramètre de différenciation entre les centrales.

#### **I.3.5. Type de commande faite**

Lors des commandes de béton la seule indication c'est le dosage en ciment, des fois on utilise uniquement le terme béton pour dalle, fondation ou bien le terme gros béton désignant le béton de propreté.

#### **I.3.6. Transport du béton**

Le transport est assuré par la centrale à béton sur camions malaxeurs sur des distance variable, pouvant conduire à des changements de qualité des bétons surtout son ouvrabilité.



**Figure I.11 :** Malaxeur

### **I.3.7. Mise en place**

La mise en place se fait généralement par une pompe à béton, le béton est souvent corrigé sur place à la demande de l'opérateur de la pompe par ajout d'eau afin de répondre au besoin de sa mise en place conduisant à des effets néfaste sur la résistance et la durabilité.

Après toutes ces constatations nous nous sommes intéressés à la norme de fabrication des bétons pour situer les défaillances.

## **I. 4. TYPES DE BETON AU SENS DE LA NORME NA 16002.**

La norme NA-16002 est la base d'identification des caractéristiques des bétons utilisés dans le domaine du génie civil, elle identifie trois types de bétons :

**BPS :** Bétons à Propriétés Spécifiées.

**BCP :** Bétons à Composition Prescrite.

**BCPN :** Bétons à Composition Prescrite dans une Norme.

### **I.4.1. Les Bétons à Propriétés Spécifiées (BPS)**

Il s'agit selon la norme de béton pour lequel les caractéristiques sont définit. S'il y a lieu des caractéristiques supplémentaires sont aussi exigées par le client ou son représentant au producteur, qui devient seul responsable de fournir un béton satisfaisant ces exigences et qualité.

Les spécifications de base qui doivent être mentionnées en général sont les suivantes :

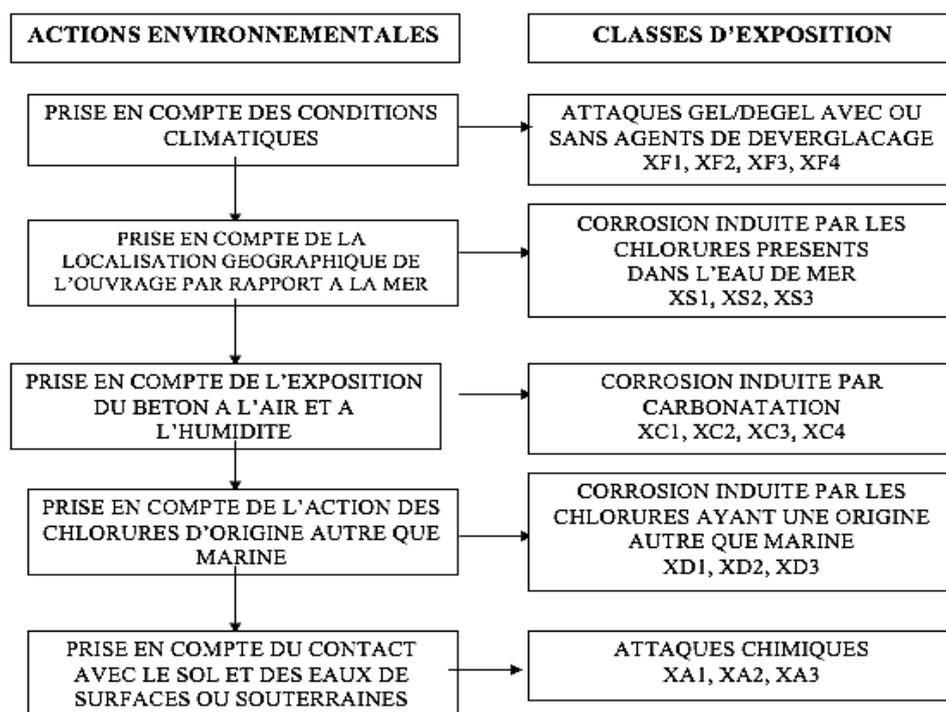
#### **I.4.1.1. Classes d'exposition des bétons**

La détermination rigoureuse des classes d'expositions auxquelles est soumis le béton ou chaque partie d'ouvrage nécessite une analyse par étapes successives de l'ensemble des actions environnementales potentielles.

Cette démarche peut être décomposée en cinq étapes, traitant l'aspect béton et l'aspect armatures de renforcement.

- Etape 1 : prise en compte des conditions climatiques, gel dégel (durabilité du béton).
- Etape 2 : prise en compte de la localisation géographique de l'ouvrage par rapport à la mer, (corrosion des aciers).
- Etape 3 : prise en compte de l'exposition du béton à l'air et à l'humidité carbonatation des bétons, (corrosion des armatures).
- Etape 4 : prise en compte de l'action des chlorures d'origine autre que marine, (corrosion des armatures).
- Etape 5 : prise en compte du contact avec le sol et les eaux de surface ou souterraines, chimique (durabilité du béton).

Ce qui est résumé comme suit :



**Figure I.12** : Organigramme des classes d'expositions

Chaque béton d'une partie d'ouvrage peut être soumis pendant sa durée d'utilisation à plusieurs actions environnementales. Les plus couramment rencontrés dans la région d'Annaba sont les suivantes.

**Tableau I.2** : Classe d'exposition carbonatation

Classe d'exposition	Description de l'environnement	Exemples informatifs des ouvrages
XC1	Sec ou humide en permanence	Béton submergé en permanence dans l'eau ou sec. Superstructure de bâtiments.
XC2	Humide, rarement sec	Surfaces de béton soumises au contact à long terme de l'eau Infrastructures et fondations
XC3	Humidité modérée	Béton extérieur abrité de la pluie
XC4	Alternance d'humidité et de séchage	Surface soumise au contact de l'eau, mais n'entrant pas dans la classe d'exposition XC2 Béton extérieur soumis à la pluie

#### I.4.1.2 Classe de consistance

La norme NA-16002 définit 5 classes de consistance des bétons (Tableau I.3):

La mesure de l'affaissement est réalisée à l'aide du cône d'Abrams.

**Tableau I.3** : Classes de consistance

Classe	Affaissement en mm
S1	de 10 à 40
S2	de 50 à 90
S3	de 100 à 150
S4	de 160 à 210
S5 <sup>1)</sup>	≥ 220

La classe de consistance est choisie pour correspondre au type d'ouvrage ou de béton ainsi que sa mise en place elle est donnée à titre indicatif par le **tableau I.4**.

**Tableau I.4** : Types d'ouvrages et classe de consistance correspondante

Types d'ouvrages	Classe de consistance	
Béton de chaussée compacté Béton extrudé pour réaliser les séparateurs de voies Béton pour coffrage glissant	S1	Ferme

Béton coulé en pente	S2	Plastique
Fluidité employée pour une grande variété d'éléments : ouvrages courants ; dalles, poutres, fondations. Mise en place par godet.	S3	Très plastique
Structure en poteau et voile Formes complexes Béton pompable	S4	Fluide
Applications verticales voiles et poteaux fortement ferrillés, fondations profondes.	S5	Très fluide

### I.4.1.3. Classes de résistance à la compression

La classe de résistance à la compression des bétons à 28 jours est désignée par la lettre C du terme (Concrete) en anglais, suivi de deux nombres correspondant aux résistances mesurées respectivement sur éprouvettes cylindriques ou cubiques désignée par C20/25, C30/37 etc., désignant la résistance sur cube ou sur cylindre. Aucune corrélation n'est à faire chaque essai doit être comparé avec le modèle approprié utilisé.

Les dimensions des éprouvettes normalisées sont :

- ✓ Eprouvettes cylindriques : 150x300 mm
- ✓ Eprouvettes cubiques : 150 mm

La norme NA.16002 propose deux familles de classes de résistance ( $f_c$ ) en fonction de la masse volumique du béton parce qu'elle traite aussi des bétons légers: La classe de résistance à la compression des bétons de masse volumique normale ou lourds est désignée par la lettre C suivie des valeurs sur éprouvettes cylindrique et cubique  $f_{c-cu}/f_{c-cy}$ .

Le tableau I.5 présente les **16 classes de résistance** des bétons ordinaires et des bétons lourds, suivant NF EN 206-1.

**Tableau I.5** : Classe de résistance à la compression

<b>Bétons ordinaires et lourds</b>		
<b>Classe</b>	$f_{c-cy}$ MPA	$f_{c-cu}$ MPA
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30

C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75

Les plus fabriqués dans cette centrale sont les classes C20/25 C25/30 et rarement la classe C30/37.

Dans les cas où le béton demande plus de spécificité des caractéristiques complémentaires peuvent, le cas échéant être demandées en plus des spécifications de base, tel que pour le béton autoplaçants, le béton en grande masse ou le béton compacté au rouleau utilisé dans les applications géotechnique.

#### **I.4.2. Les bétons à composition prescrite (BCP)**

C'est un béton pour lequel la composition et les constituants à utiliser sont spécifiés par le prescripteur au producteur. La composition doit être conforme à la norme NA-16002, elle doit répondre aux mêmes exigences. Dans ce cas le producteur est uniquement responsable de fournir un béton respectant la composition demandée.

Les données de base comprennent :

- ✓ l'exigence de conformité à la norme NA16002.
- ✓ le dosage en ciment souhaité.
- ✓ le type de ciment et sa classe de résistance.
- ✓ le rapport eau/ciment ou la consistance souhaité.
- ✓ le type et catégorie des granulats ainsi que leur taux de chlorure maximal.
- ✓ la dimension maximale et minimale des granulats et autres limitations.
- ✓ le type et la quantité des adjuvants et additions à utiliser.

Les contrôles sur les performances atteintes ne sont pas dans ce cas de béton de la responsabilité du producteur. La responsabilité du prescripteur est de réaliser une étude de formulation, aussi d'établir une composition détaillée du béton qu'il doit communiquer au producteur, qui s'engage uniquement à la respecter.

#### **I.4.3. Les Bétons à Composition Prescrite dans une Norme (BCPN)**

Dans ce cas de béton une spécification par d'autres normes des compositions de béton pour des applications particulières, autres que celle indiquée dans la norme NA16002 ; tel que dans le cas des bétons de classe inférieur à C16/20 ou des bétons non soumis à celle-ci. Le prescripteur a la responsabilité dans ce cas de sélectionner, dans une autre norme, la composition appropriée à l'ouvrage. La fabrication du béton peut être réalisée soit en centrale à béton fixe ou sur le chantier.

Dans ce travail, notre intéressement a été explicitement consacré aux Bétons à Propriétés Spécifiées (BPS) fabriqués dans la centrale à béton est fournis par camions malaxeurs pour être mis en place par pompage hydraulique sur camion girafe.

### I.5. Béton a propriété spécifiées près à l'emploi (BPS-PE)

Les bétons prêts à l'emploi sont fabriqués dans une centrale à béton fixe. Ils sont ensuite transportés à l'état frais à l'aide d'un camion malaxeur vers les chantiers pour leur mise en place qui peut se faire à l'aide de godet , de tapis (de moins en moins utilisés) ou de pompe à béton (béton pompé, de plus en plus utilisé).

En Algérie la grande majorité des bétons sont mis en place par pompage, deux types de pompes sont utilisés. Une pompe à piston hydraulique qui peut être stationnaire ou automotrices sur camion.



**Figure I.13 :** Pompe girafe



**Figure I.14 :** Pompe stationnaire

Un autre type de mise en place c'est la pompe à injection des bétons, elle se fait par compression d'air d'une pression max de 07 bars pouvant atteindre jusqu'à 20m ce qui caractérise les petits ouvrages.



**Figure I.15 :** Pompe injection sous pression

Les BPS-PE conviennent pour tous les ouvrages une pompe adaptée à la quantité doit être choisie.

On peut citer quelques avantages et inconvénients du béton prêt à l'emploi.

#### **I.5.1. Avantages du béton prêt à l'emploi**

- ✓ Simplification de l'organisation du chantier
- ✓ Absence de stockage des matériaux sur le chantier
- ✓ Main d'œuvre réduite sur le chantier, pour la mise en place uniquement

#### **I.5.2. Inconvénients du béton prêt à l'emploi**

Les opérations de fabrication dans la centrale, le transport et le coulage doivent être synchronisées avec le coulage afin d'éviter une attente prolongée du béton sur le chantier

L'ouvrabilité du béton prêt à l'emploi a un temps limité. Tout retard dû aux embouteillages sur les routes et surtout une panne du véhicule peuvent conduire à de graves problèmes surtout le début de prise.

#### **I.5.3. Applications**

- ✓ Bétonnage pour les dalles et les poutres de la structure.
- ✓ Les pistes de circulation.
- ✓ Les chaussées bétonnées.
- ✓ Les revêtements des tunnels.
- ✓ Les barrages et structures hydrauliques.

## I.6. CONSTITUANTS DES BETONS

Les constituants des bétons sont les mêmes que ceux du béton ordinaire, la seule différence réside dans leur fabrication dans une centrale à béton fixe. Ils sont constitués de granulats (gros et fins) d'eau de ciment et éventuellement complété par des adjuvants et des additions.

Le mélange entre le ciment et l'eau forme la pâte, mélangée au sable constitue le mortier. Celui-ci a pour rôle d'enrober et de lier les gros granulats pour former une pierre artificielle après durcissement. Des adjuvants et des additions peuvent être ajoutés pour améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

La composition moyenne du béton en volume est donnée par le tableau I.6

**Tableau I.6 :** Teneur en volume des composants du béton

Teneur	Eau	Air	Liant	Granulats
En volume(%)	16 - 22	1 - 5	10 - 15	58 - 73

### I.6.1 Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, finement broyé qui, mélangé avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise, durcit et conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau, liant hydraulique.

#### I.6.1.1.Types de ciments

Les ciments portland sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux selon la norme NA 442 [5] (Tableau 2).

##### **CEM I: Ciment Portland**

Contient au moins 95 % de clinker (K) et au plus 5% de constituants secondaires. Les CEM I conviennent pour le béton armé ou le béton précontraint, là où une résistance élevée est recherchée ainsi qu'un décoffrage rapide.

##### **CEM II: Ciment Portland composé**

Contient au moins 65% de clinker (K) et au plus 35 % d'autres constituants secondaires destinés globalement pour les ouvrages courants de génie civil.

##### **CEM III: Ciment de haut fourneau**

Type de ciment hydraulique utilisé en infrastructure et surtout les ouvrages hydrauliques. Il est fabriqué à partir de laitier et de clinker.

##### **CEM IV: Ciment pouzzolanique**

Ciment contenant entre 45 et 90 % de clinker, le reste étant des pouzzolanes naturelles, des cendres volantes siliceuses ou de la fumée de silice

#### **CEM V: Ciment composé**

Contient 40-64clinker et 18-30 de laitier à haute fourneau et 0-5 constituant secondaire

#### **CEM VI: Ciment prise mer**

Ces ciments présentent des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C3A) qui leur permettent de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des ions sulfates en présence d'ions chlorures, au cours de la prise et ultérieurement.

#### **CEM VII: Ciment résistante aux sulfates**

Constitué de 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce ciment et du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise est couramment utilisé Ciment de base pour les travaux de génie civil en milieu agressif.

Les travaux de béton nécessitant une faible chaleur d'hydratation.

### **I.6.1.2. Classes de résistances**

La classe de résistance d'un ciment est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours sur mortier normal conformément à la norme NF EN 196-1 et exprimée en MPa.

Les ciments sont répartis en trois classes de résistance, 32,5 ; 42,5 ; 52,5 et haute performance HP quand la résistance dépasse les 60MPa.

A chaque classe de résistance courante, correspondent trois classes de résistance à court terme

- ✓ une classe de résistance à court terme normale, notée N.
- ✓ une classe de résistance à court terme élevée, notée R.

**Tableau I.7 :** Valeurs minimale garantie de la résistance en compression des ciments

	<b>Résistances minimales absolues en MPa</b>
--	--------------------------------------------------

	2 jours	7 jours	28 jours
<b>32,5 N</b>	-	14	30
<b>32,5 R</b>	8	-	30
<b>42,5 N</b>	8	-	40
<b>42,5 R</b>	18	-	40
<b>52,5 N</b>	18	-	50
<b>52,5 R</b>	28	-	50

Les CEM I de classe R permettent un décoffrage rapide appréciable notamment en préfabrication. Les CEM I 52,5 N ou 52,5 R conviennent pour le béton armé ou précontraint pour lesquels est recherchée une résistance élevée.

### **I.6.2. Les granulats**

Les granulats constituent le squelette de béton représentant 58 à 73 % des constituants.

Les granulats sont constitués d'un ensemble de grains minéraux de dimension comprise entre 0 et 125 mm. Les granulats peuvent être classés selon plusieurs critères :

#### **I.6.2.1 Selon leur provenance**

- **Naturel:** d'origine minérale, issus de roches meubles, ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

#### **I.6.2.2 Selon la forme**

- **Les granulats de roche massive (concassés ou de carrière) :**

Sont obtenus par extraction et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires comparativement à ceux meuble de forme arrondie. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité de forme, degré de concassage.

Les granulats concassés sont obtenu à partir des carrières.

#### **I.6.2.3 Selon les dimensions**

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes  $d$  et  $D$ , les granulats rencontrés selon la norme NF EN 12620 [6] sont :

- ✓ Les fines  $D \leq 0,08$  mm.
- ✓ Les sables  $D \leq 6,3$  mm.
- ✓ Les gravillons  $d \geq 2$  mm et  $D \leq 31,5$  mm.
- ✓ Les graves  $d \geq 6,3$  mm et  $D \leq 80$  mm.
- ✓ Les cailloux  $d \geq 20$  mm et  $D \leq 80$  mm.

### I.6.3. L'eau de gâchage

- L'eau de gâchage du béton ne doit pas contenir de composés risquant d'attaquer le ciment, les granulats ou les armatures. Plusieurs types d'eau peuvent être utilisés pour la fabrication du béton. L'eau potable peut être utilisée sans aucun essai.
- L'eau récupérée issue de la fabrication du béton (eau de lavage, eau excédentaire...) doit satisfaire à des exigences spécifiques (définie dans l'annexe A de la norme NF EN 1008) [8].
- Les eaux d'origine souterraine (nappe phréatique), les eaux de surface et les eaux de rejets industrielles peuvent être utilisées mais doivent être soumises à des essais avant utilisation.
- Les eaux de mer peuvent être utilisées uniquement pour la fabrication du béton non armé.
- Les eaux usées ne sont pas autorisés.

### I.6.4. Les adjuvants

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, conduit à des modifications positives des propriétés du mélange, à l'état frais ou durci.

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 prêts à l'emploi, ou fabriqués sur chantier.

La norme NF EN 934-2 [7] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis suivant leur fonction principale.

On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- **Ceux qui modifient l'ouvrabilité et la quantité d'eau**

Plastifiants - réducteurs d'eau : permettent de modifier la consistance

- **Ceux qui modifient la prise et le durcissement :**

**Accélérateurs de prise :** est un produit qui permet de réduire le temps de la prise du ciment on applique dans les bétons à temps froids, BHP, hors gel

**Retardateurs de prise :** permettent de retarder le début de prise du béton on l'applique au béton pompés, pour ouvrage de masse, transport sur longue distance.

**Accélérateur de durcissement :** Ils accélérés le durcissement de béton pour obtenir de meilleurs résistances a bas âge.

- **Ceux qui modifient certaines propriétés particulières :**

**Entraîneurs d'air :** permettent d'entraîner à l'intérieur du béton des microbulles d'air parfaitement permettant une meilleurs résistances a l'effet gel/dégel application dans les bétons routiers , ouvrage d'Art.

**Hydrofuges de masse :** augmente la compacité afin de limiter la pénétration de l'eau il s'applique dans les sous-sols, réservoir et piscine.

**Rétenteurs d'eau :** régule l'évaporation d'eau, afin de réduire la perte en eau et d'augmenter ainsi la stabilité du mélange et d'éviter le retrait.

### **I.6.5. Additions pour béton**

Les additions pour béton sont introduites quelque fois pour améliorer la fluidité et surtout la durabilité définies dans la norme NA.16002 [3].

Une addition est un matériau minéral finement broyé et pouvant être ajouté au béton. Il existe plusieurs types d'additions :

- **les additions réactives**

- ✓ Les pouzzolanes naturelles.
- ✓ Les fumées de silice.
- ✓ Les cendres volantes.

### **I.7. SPECIFICATIONS DES BPE**

Nous rappelons quelques spécifications données par la norme NA.16002:

### I.7.1. Classes des masses volumiques

La norme NA16002 couvre les bétons de masse volumique normale (2000 à 2600 kg/m<sup>3</sup>), les bétons lourds (masse volumique supérieure à 2600 kg/m<sup>3</sup>) et les bétons légers (masse volumique comprise entre 800 et 2000 kg/m<sup>3</sup>).

**Tableau I.8 :** Type de béton en fonction de la masse volumique

Types de béton	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
Béton léger	800 - 2000
Béton ordinaire	2000 - 2600
Béton lourd	> 2600

### I.7.2 Valeurs limites spécifiées par la classe d'exposition applicables à la composition et aux propriétés des bétons.

L'Annexe de la norme NA-16002 définit les valeurs limites spécifiées relatives à la composition et aux propriétés du béton en fonction de chaque classe d'exposition (Tableau I.9).

**Tableau I.9 :** Valeurs limites spécifiées applicables à la composition et aux propriétés du béton

	Classes d'exposition																	
	Corrosion induite par carbonatation				Corrosion induite par les chlorures							Attaque gel / dégel				Environnements chimiquement agressifs		
					Eau de mer			Chlorures autres que l'eau de mer										
XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3 <sup>1)</sup>	XF4 <sup>2)</sup>	XA1	XA2	XA3 <sup>3)</sup>		
Rapport $E_{eff}/liant$ éq maximal <sup>4)</sup>	0,60	0,60	0,55	0,50 <sup>5)</sup>	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,50 <sup>5)</sup>	0,45	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40	
Classe de résistance minimale <sup>6)</sup>	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37 <sup>6)</sup>	C30/37 <sup>6)</sup>	C35/45	C30/37	C30/37 <sup>6)</sup>	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45 <sup>6)</sup>	C30/37	C35/45	C40/50	
Teneur mini en liant éq (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>7)</sup> (c) (d)	280	280	300	330	330	330	350	330	330	350	330	350 <sup>7)</sup>	385 <sup>8)</sup>	385 <sup>8)</sup>	330	350	360	
Absorption d'eau maxi pour les produits préfabriqués en usine (%)	6,5 <sup>9)</sup>	6,5 <sup>9)</sup>	6 <sup>9)</sup>	6 <sup>9)</sup>	5,5 <sup>9)</sup>	5,5 <sup>9)</sup>	5 <sup>9)</sup>	6 <sup>9)</sup>	5,5 <sup>9)</sup>	5 <sup>9)</sup>	6 <sup>9)</sup>	5 <sup>9)</sup>			5,5 <sup>9)</sup>	5 <sup>9)</sup>	4,5 <sup>9)</sup>	
Teneur minimale en air (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 <sup>1)</sup>	4 <sup>1)</sup>	-	-	-	
Essai(s) de performances <sup>1)</sup>												XP P 18-420	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)	NF P 18-424 (ou NF P 18-425)				

Le minimum exigé selon la norme NA-16002 est la classe C25/30 ce qui n'est pas respecté dans la majorité des ouvrages ou la classe de béton et celle définie par le RPA C20/25.

## I.8. FABRICATION DU BETON

### I.8.1. CENTRALE A BETON

Actuellement les bétons ne sont plus fabriqués sur chantier mais sont produits à l'intérieur de centrales à béton mieux équipées et permettant d'avoir du béton de meilleure performance que son équivalent défini comme béton prêt à l'emploi.

Il existe deux modes d'installation de centrale à béton :

- ✓ Les centrales fixes.
- ✓ Les centrales mobiles ou de chantier.

Les centrales fixes sont équipées de malaxeurs de grande capacité et peuvent desservir plusieurs chantiers en BPE. Alors que les centrales mobiles permettent la fabrication du béton au pied du chantier.

### **I.8.1.1. Les principaux équipements d'une centrale à béton**

Une centrale à béton comporte un certain nombre d'équipements et d'installations:

#### **I.8.1.1.1. Box de stockage des granulats :**

Le stockage des granulats se fait à deux niveaux

Dans des box, constituant un stock tampon qui assurent l'approvisionnement de la centrale pendant quelques jours pour éviter la rupture des stocks. Le transfert des granulats du stock tampon vers les trémies peut être réalisé à l'aide de tapis convoyeur mécanique.

Dans des trémies de dosage qui assurent l'alimentation du malaxeur.

Les granulats sont stockés séparément en fonction de leurs dimensions et de leurs natures.



**Figure I.16:** Pré-stockage des granulats dans des box

#### **I.8.1.2. Silo à ciment**

Le silo à ciment sert à contenir de grands volumes de ciment de l'ordre 100 à 200 tonnes qui arrivent en vrac par camion-citerne.



**Figure I.17 : Silos à ciment**



**Figure I.18 : Camion cocotte**

### I.8.1.3 Balances

Les balances sont généralement placées sous les trémies, permettant le pesage des constituants avant leurs transferts vers le malaxeur.



**Figure I.19 : Balance de pesage**

- **Cuves de stockage des adjuvants**

Les adjuvants sont entreposés dans un local (hors gel) attendant à la centrale dans des cuves de 1000 à 2000 litres ou des fûts de 200 litres, fermés et bien identifiés pour éviter les mélanges.



**Figure I.20 :** *Local à adjuvant*



**Figure I.21 :** *Pompes*

#### **I.8.1.4. Réservoir d'eau**

Il est nécessaire, selon les cas, de stocker l'eau avant utilisation dans des cuves de réserve.



**Figure I.22 :** *Réservoir d'eau*

#### **I.8.1.5. Malaxeur**

Le malaxeur est le cœur de la centrale à béton. Le travail du malaxeur consiste à recevoir tous les ingrédients et à les mélanger soigneusement.



**Figure I.23 :** Malaxeur a axe vertical

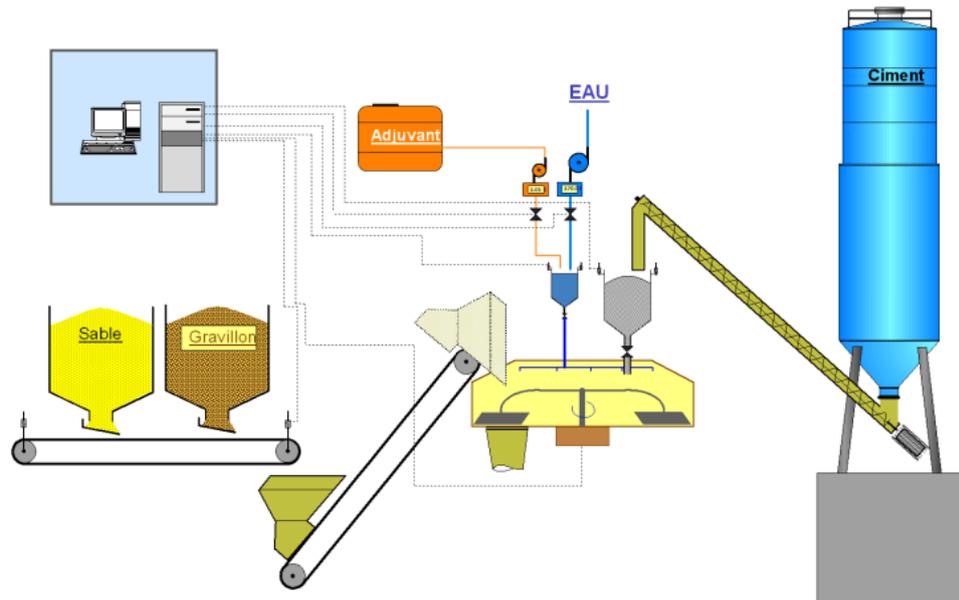
#### I.8.1.6. Panneau de commande

Le panneau de commande contrôle toutes les opérations de fabrication du béton : la quantité, le dosage des constituants, le malaxage, l'alimentation des malaxeurs et le nettoyage.



**Figure I.24 :** Panneau de commande

Le Schéma de principe de fonctionnement d'une centrale à béton peut être présenté comme suit figure 1.



**Figure I.25 :** Schéma de principe d'une centrale à béton

## 1.9 FABRICATION DU BPE DANS UNE CENTRALE.

Le procédé de fabrication des bétons a propriété spécifiée dans les centrales à béton comme comprend les phases suivantes :

### I.9.2. Réception et stockage des matières premières :

Les Ciments sont livrés par camion-cocotte en grande partie de la cimenterie de Biskra et transférés dans les silos verticaux (100 à 200 tonnes)

Sables et gravillons : livrés par camion benne à partir de la région de Guelma et stockés dans des box correspondants à chaque fraction séparées par des cloisons.

Adjuvants : Livrés en cuves ou fûts sur palettes de marque Sika.

Eau : utiliser à partir de l'eau potable du robinet ou du puits.

#### I.9.2.1 Préparation de la gâchée :

##### - Pesée des différents constituants :

- ✓ Ciment: bascule électronique.
- ✓ Granulats : Ajustement des pesées en fonction de l'humidité du matériau par pesée sur tapis-peseur, transféré dans le skip.
- ✓ Eau : bascule électronique.

- ✓ Adjuvant : dosage par pompe-doseuse bascule et introduction directement dans le malaxeur.



**Figure I.26 :** Ampèremètre de fonctionnement du malaxeur

### I.9.2.2 Malaxage

Les matériaux sont envoyés vers le malaxeur à axe verticale par skip pour être malaxé à sec avant l'introduction de l'eau de gâchage.

Le but est d'obtenir un mélange homogène avec une bonne répartition des différents constituants.



**Figure I.27 :** Skip d'alimentation du malaxeur

### I.9.2.3. Contrôle de la plasticité du béton:

Afin d'avoir un béton de consistance demandée il est important de l'évaluer par la mesure de son affaissement à la sortie du malaxeur.

- ✓ Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams du béton.
- ✓ Aucun essais n'est fait au niveau de la central l'opérateur se base sur la lecture de la puissance électrique indiquer au niveau de la salle de commande pour évaluer la fluidité du béton à partir de son expérience.

#### I.9.2.4. Déchargement du malaxeur

Le déchargement du malaxeur dans le camion malaxeur : Selon la capacité du malaxeur, 6 ou 8m<sup>3</sup> plusieurs gâchées sont généralement nécessaires pour le remplir.

#### I.9.2.5. Edition du bon de livraison

Un bon de livraison est établie par le producteur pour le client comprenons les indications mentionnée dans la figure suivante :

Central a béton **SARL EL AMEL**

Annaba:  $m^3$  2023-05-03 7:59:00  $m^3$  Bon de Livraison

TEL 0553-41-86-84

N°03 Adresse: ANNABA Client: ~~\_\_\_\_\_~~

Quantité demandé: 20 Quantité livré: 10 Quantité reste: 10

DOSAGE	MATRICULE	NOM DE CHAUFFEUR/CLAS	ADJUVANT	QUANTITE
350kg	00007-72	imed	40/40 super plastifiant	5

*Il est strictement interdit, et sans aucune responsabilité de la société  
Si le client ajoute de l'eau au béton frais ... merci*

Signature: \_\_\_\_\_ Signature Client \_\_\_\_\_

**Figure I.28 : Bon de livraison**

Aucune mention n'est sur les caractéristiques du béton n'est donnée, contrairement à l'exigence de la norme NA-16002.

### I.9.3. TRANSPORT DU BPE

**Le transport du béton frais** jusqu'au lieu de coulage parfois éloignée de plusieurs dizaines de kilomètres nécessite un suivi sur place afin de prendre les mesures nécessaire pour que ça consistance ne soit pas modifiée ainsi que le phénomène de début de prise. Aucune mesure n'est prise par le producteur en ce sens conduisant à des effets néfaste sur la qualité du béton livré.

### I.9.4. MISE EN ŒUVRE

Dès l'arrivée du béton sur site il est verser dans la pompe et sera corrigé arbitrairement afin d'atteindre une fluidité requise par l'opérateur de la pompe visuellement afin de pouvoir être acheminé. Cette correction va nuire énormément à la qualité de béton.

### **I.9.5. Coulage du béton par pompage**

Le pompage du béton est une technique de plus en plus utilisée qui se développe car il permet une grande productivité, la limitation du temps d'attente avant la mise en place du béton, la possibilité d'assurer l'approvisionnement sur des sites difficiles d'accès et la mise en place de quantités importantes en moyenne  $40\text{m}^3/\text{h}$ .

L'évolution rapide des bétons pompés permet d'atteindre des longueurs de transport de 300 à 400 m, en horizontal et jusqu'à 100 m en hauteur avec des bétons adaptés.

**CHAPITRE.II –ANALYSE DE  
LA QUALITE DES  
MATERIAUX UTILISES AU  
NIVEAU DE LA CENTRALE  
A BETON**

## II.1. INTRODUCTION

L'analyse de la qualité des matériaux est une étape essentielle dans le domaine de la construction. Elle vise à évaluer les caractéristiques et les performances des matériaux utilisés pour garantir leur conformité aux normes et aux spécifications requises.

Dans notre stage qui a été réalisé au niveau de la centrale à béton qui produit un béton ordinaire, celle-ci utilise 4 fraction granulométriques, du sable concassé 0/5, et des granulats 3/8, 8/16, 15/25 en plus d'un adjuvant super plastifiant SIKA PLAST-380RMX afin de réduire le dosage en haut et augmenter la consistance. Le laboratoire TEKNACHEM a été chargé de la formulation de départ, il s'est basé sur des granulats, ciment et adjuvant fournis par la centrale à béton d'origine Guelma, la composition est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau II.1** : Formulation du laboratoire TEKNACHEM

Désignation	QTE. kg/m <sup>3</sup>	25 Litres	Provenance
Sable 0/1	219	5,40	
Sable 0/3	568	14,15	
Gravier 3/8	239	5,98	
Gravier 8/15	589	14,73	
Gravier 15/25	229	5,73	
Ciment CPJ 42,5	350	8,75	
SUPERIOR 527 (1%)	3,5	0,09	TEKNACHEM
Eau	165	4,13	A,E,P

On peut remarquer que la composition fournie n'est pas adaptée à la centrale étant donné qu'elle est composée de 4 trémies alors que la composition spécifie 5 composants obligeant l'opérateur à faire un mélange de sable de dune et de carrière aléatoire juste au niveau du bac de stockage.

On a pu aussi voir que la composition fournie n'est pas utilisée, mais une autre formulation a été adoptée au niveau de la centrale qui est la suivante :

**Tableau II.2** : Formulation de centrale à béton

granulats	SC	G3/8	G8/16	G15/25	CIMENT	Eau	ADJUVANT
Source	Guelma	Guelma	Guelma	Guelma	Biskra	ER	Sika
Masse kg	<b>820</b>	<b>202</b>	<b>598</b>	<b>250</b>	<b>350</b>	<b>120</b>	<b>1.5</b>

La première difficulté c'est justement l'inexistence de la 5<sup>ème</sup> trémie ce qui a poussé l'opérateur à éliminer le sable de dune au vu aussi du coût de celui-ci.

L'approvisionnement n'est pas aussi toujours de la même source au vu des problèmes que rencontrent les carrières, d'autres carrières sont une source d'approvisionnement, ce qui explique les anomalies rencontrées lors de la fabrication des bétons étant donnée qu'aucune formulation n'a été faite par un laboratoire agréé.

## II.2. PROBLEMATIQUE

Le béton produit au niveau de la centrale n'atteint pas les caractéristiques requises, tel que la consistance aussi la résistance recommandée par les cahiers de charge et les règles parasismique en conformité avec le contrôle technique de construction (CTC) qui en général exige une valeur supérieure ou égal à 20 MPa après 28 jours ; néanmoins aucun essai n'est établi sur le béton frais pour la détermination de la consistance du béton, causant une défaillance au niveau de la mise en place par pompage, l'ajout d'eau est systématique, par conséquent la résistance chute ; en finalité le bureau d'étude doit faire des renforcements, ou carrément la démolition.

De ce point de vue on a décidé de prendre en charge le dossier d'élaboration d'une composition de béton conforme à la norme NA.16002.

L'analyse des caractéristiques des matériaux, la formulation d'un béton de consistance S4 pompable, et de résistance C25/30 a été notre préoccupation majeure durant notre stage.

Toutes les facilités nous ont été accordées afin de mener à bien notre travail au niveau de la centrale à béton. Tous les matériaux ont été pris du site ainsi que les adjuvants utilisés, à part le ciment qu'on a acheté, un CEM.II 42.5N.



**Figure II.1 : Centrale à béton**

L'ensemble des essais, pour déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats utilisés par la centrale et cette nouvelle formulation pour un béton compatible aux exigences de la norme NA16002, un béton BPS-PE de consistance S4 de classe C25/30 et d'agressivité XC2 ce qui est généralement le plus utilisé ont été fait au niveau du département de génie civil université de Annaba.

### **II.3. MATERIAUX UTILISE :**

#### **II.3.1. Type de ciment :**

Le ciment doit être choisi parmi ceux dont l'aptitude à l'emploi est établie et en adéquation avec l'agressivité :

La norme 16002 définit le type de ciment en fonction de l'agressivité.

Lorsque le sol est fortement agressif, ce qui peut être établi par le rapport géotechnique, nous avons deux types d'agressivité accentuées, en présence d'eau de Mer donc les armatures seront attaquées par le chlorure marin très fort, ou en présence de forte concentration de sulfate causant l'attaque du béton. Dans ce cas on est obligé de choisir un type de ciment conforme aux spécifications de la norme NA-16002, soit un béton prise Mer (CPM) ou un ciment résistant aux sulfates, tel qu'un ciment à haute teneur en silice (HTS), résistant aux sulfates (CRS). Dans le cas général pour un ouvrage normal un ciment CEM.II 42.5N est utilisé. Dans le cas d'ouvrages d'art ou de structure importante nécessitant des résistances élevée un CEM.I 52.5 ou HP devient une exigence.

Pour les ciments CEM.II 32.5 il n'est utilisé que dans le cas d'une utilisation non structurale.

### II.3.1.1 Détermination De La Finesse Du Ciment (Norme NF 196-6 Tamisages)

La granulométrie du ciment est une caractéristique importante, car elle permet de quantifier l'étendue dimensionnelle.

C'est une méthode précise et normalisée pour évaluer la granulométrie du ciment. En utilisant cette méthode, il est possible de caractériser la distribution des particules et d'estimer la finesse du ciment, ce qui est crucial pour garantir la qualité et la performance du matériau dans diverses applications de construction.

On le fait pour vérifier la finesse du ciment par tamisage.

$$R_i = \frac{m_i}{m_t} \times 100(\%)$$

$m_i$  : la masse de tamisât.

$m_t$  : la masse totale d'échantillon.

Le refus pour 90µm du ciment doit être inférieur à 15%. L'écart type de répétabilité est d'environ 0.2% et celui de la reproductibilité est d'environ 0.3 %

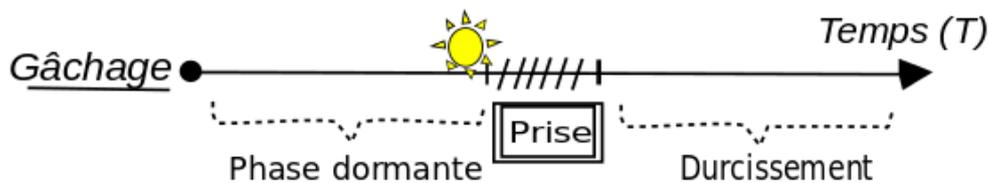
### II.3.1.2 Essai sur ciment :

Les essais sur ciments sont généralement réalisés selon des normes spécifiques, telles que la norme NF EN 196 dont l'objectif principal de cet essai est de mesurer la taille des particules de ciment qui permet de déterminer la surface spécifique du matériau et d'évaluer différentes propriétés du ciment, telles que la finesse, les temps de prise, la résistance mécanique, la composition chimique, l'activité pouzzolanique, etc. Ces propriétés sont décisives pour déterminer la performance du ciment dans différentes applications de construction.

L'essai du temps de prise évalue le temps nécessaire pour que le ciment atteigne certaines étapes de prise et de durcissement, ce qui est essentiel pour la planification et la mise en œuvre des travaux de construction.

L'essai de compression mesure la résistance mécanique développée par le ciment après une période de durcissement, pour évaluer sa capacité à supporter des charges structurales.

Le but est de mesurer le temps de prise du liant hydraulique (ciment) à l'aide de l'appareil de Vicat, autrement dit, le temps qu'il faut pour que la réaction chimique débute et termine. Permettant de limiter le temps d'acceptation du béton sur site, et le début d'arrosage. Pour cela, on mesure par enfoncement de l'aiguille dans le ciment selon des paramètres spécifiques.



**Figure II.2** : Début-fin de prise

1. Phase dormante : le béton frais conserve sa maniabilité et reste utilisable sur site avant le début de prise. L'hydratation des grains de ciment reste lente.
2. Début de prise s'effectue généralement au bout de 2h00mn pour les bétons avec plastifiant au-delà le béton n'est plus accepté.
3. La fin de prise correspond au moment où la pâte cesse d'être déformable et commence à devenir un **matériau solide**, l'arrosage du béton peut être amorcé.
4. Durcissement : La **poursuite de l'hydratation** se traduisant par le durcissement. Résultat de la formation progressive de cristaux dont l'enchevêtrement et la croissance assurent la cohésion des différents grains du béton jusqu'à maturation.



**Figure II.3** : Essai de consistance



**Figure II.4** : Début-fin de prise

### II.3.2. Granulats pour béton

La norme algérienne NA 16002 oblige les entreprises produisant les granulats (les carrières) à agréer leur produit par des laboratoires, certifiant la qualité d'être utilisé dans le béton.

Les premiers essais s'étaient de voir la qualité de ces granulats à être utilisé comme agrégats pour béton.

De ce fait les premières caractéristiques s'étaient de voir leur résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulats essai « **Micro Deval** » et à la résistance combinée aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments d'un granulats, « **essai Los Angeles** ».

- ✓ La norme européenne EN 1097-1 permet de déterminer le coefficient de micro-Deval.
- ✓ La norme européenne EN 1097-2 décrit l'essai Los Angeles.

#### **II.4. Caractéristiques Essentielle D'acceptabilité**

Ces essais sont utiles pour évaluer la résistance des granulats à l'abrasion, car une résistance élevée à l'abrasion garantit une meilleure durabilité du béton dans des environnements soumis à des contraintes mécaniques et abrasives élevées. Les résultats de ces essais aident à sélectionner des granulats de qualité qui résisteront à l'usure et maintiendront les performances du béton sur le long terme.

##### **II.4.1. Essai Micro Deval**

Les normes décrivent les procédures spécifiques pour réaliser les essais Micro Duval et Los Angeles. Ces essais sont largement utilisés dans l'industrie de la construction pour évaluer la qualité des granulats, afin de comparer différents matériaux et pour sélectionner les granulats les plus adaptés à une utilisation spécifique.

L'Essai Micro Deval est Utilisé pour déterminer la résistance à l'usure et la durabilité des agrégats minéraux. La machine est équipée d'un contrôleur électronique avec des capteurs dédiés pour suivre avec précision le temps de test, le nombre total de tours et le nombre de tours par minutes.



**Figure II.5 :** Machine Micro-Deval

La charge abrasive dépend de la fraction granulaire voire **Tableau II.3 :**

**Tableau II.3 :** La charge abrasive

<b>Classe granulaire (mm)</b>	<b>Charge abrasive(g)</b>
<b>4/6.3</b>	<b>2000 ±5</b>
<b>6.3/10</b>	<b>4000 ±5</b>
<b>10/14</b>	<b>5000 ±5</b>
<b>25/50</b>	<b>Sans charges</b>

$$M_{DE} = \frac{m}{M} \times 100$$

**m :** masse après l'essai.

**M :** la masse totale.

La classification des granulats se fera comme indiqué sur le **Tableau II.4 :**

**Tableau II.4 :** Classification des granulats

<b>Valeurs de coefficient Micro Deval</b>	<b>Appréciation</b>
-------------------------------------------	---------------------

$M_{DE} < 10$	Très bon à bon -Classe. A
$M_{DE} 10 \text{ à } 20$	Bon à moyen -Classe. B
$M_{DE} 20 \text{ à } 35$	Moyen à faible -Classe. C
$M_{DE} > 35$	Médiocre -Classe. D

#### II.4.2. Essai Los Angeles

C'est une méthode utilisée pour évaluer la résistance au choc des granulats utilisés dans la construction. Cet essai est couramment utilisé pour évaluer la qualité des granulats et leur aptitude à résister à la fragmentation lorsqu'ils sont soumis à des contraintes mécaniques répétées.

Le coefficient LA est calculé à partir au passage au tamis de 1.6mm, mesuré en fin d'essai, il caractérise le granulat, et sa résistance à la fragmentation, elle est d'autant meilleure que sa valeur est petite.



**Figure II.6 :** Los Angeles

Le nombre de boules dépeint aussi de la fraction granulaire voire **Tableau II.5 :**

**Tableau II.5 :** Nombre de boule

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)
4.0/6.3	07	3080
6.3/10	09	3960
10/14	11	4840
10/25	11	4840
16/31.5	12	5280
25/50	12	5280

$$LA = 100 * (M_0 - M_1) / M_0$$

$M_0$  : masse totale.

$M_1$  : masse après l'essai.

La classification des granulats se fera comme indiqué sur le **Tableau II.6** :

**Tableau II.6** : Valeurs du coefficient

Valeurs du coefficient	Los Angeles Appréciation
$LA \leq 15$	Tres bon a bon Classe.A
$15 < LA \leq 25$	Bon a moyen Classe.B
$25 < LA \leq 40$	Moyen a faible Classe.C
$LA > 40$	Médiocre «mauvaise qualité» Classe.D

#### II.4.3. Essai De Propreté Des Granulats (P18-591)

L'essai de propreté des graviers selon la norme NF P18-591 est une méthode essentielle pour évaluer la présence de particules fines et d'impuretés dans les graviers. Il permet d'assurer la qualité et la performance des matériaux dans diverses applications de construction. En réalisant cet essai, il est possible de garantir que les graviers utilisés dans un projet sont propres et conformes aux spécifications requises, contribuant ainsi à la réalisation de structures durables et fiables.

$$P\% = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$$

Le pourcentage d'imputée doit être inférieur à 5%.

Les trois essais Micro-Deval, Los Angeles et de propreté permettent d'établir le critère d'acceptabilité des granulats.

## **II.5. CARACTERISTIQUES PHYSIQUE**

Les caractéristiques physiques sont importantes dans la fabrication de béton que ce soit pour la résistance ou pour la masse du béton.

La qualité du béton dépend essentiellement de distribution granulaire, permettant d'avoir une composition la plus compacte possible.

### **II.5.1. Essai Analyse Granulométrique d'un Sable et d'un Gravier (NF En 933-1).**

L'analyse granulométrique selon la norme NF EN 933-1 est une méthode normalisée utilisée pour caractériser la distribution et la taille des particules d'un matériau granulaire. Cette analyse joue un rôle crucial dans l'évaluation des propriétés du matériau et dans la prise de décisions éclairées.

L'analyse granulométrique a différents buts :

- ✓ Déterminer les dimensions max –min des grains.
- ✓ Déterminer les proportions des grains on fonction de leurs dimensions.
- ✓ déduire le module de finesse (Mf).

Cet essai intitulé analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

L'essai consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

### **II.5.2. Module De Finesse Mf (NF P18-540)**

Le module de finesse est un indicateur important de la mesure de la finesse d'un sable. Il est calculé à partir des résultats de l'analyse granulométrique et fournit des informations sur la finesse du matériau.

**Tableau II.7 : Module de finesse**

Module de finesse		
SF	SM	SG
sables à grain fin	Sables à grains moyens	Sables à gros grains
1.8 <MF<2.2	2.2 <MF<2.8	2.8. <MF<3.2

La série des tamis (mm) utilisée pour la détermination de module de finesse est la suivante: 0.16 ,0.315 ,0.63 ,1.25 ,2.5 ,5 . Il est déterminé par la fonction suivante :

$$M_F = \frac{1}{100} \Sigma \text{ refus cumulés des tamis}$$

### II.5.3. Essai Coefficient D'aplatissement EN12350-2

Coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Il est déterminé par un double tamisage d'abord au travers de la série de tamis à mailles carrée utilisée pour l'étude de la granulométrie Puis par un second tamisage des refus retenus sur différentes tamis sur une série de grilles a fente parallèles.



**Figure II.7 : Grille**

Un coefficient d'aplatissement ne dépassant pas les 30% et considérée acceptable pour l'utilisation dans la fabrication du béton.

### II.5.3 Essai la Masse Volumique Apparente NF EN 1097-6

La masse volumique apparente est une mesure essentielle des propriétés physiques d'un matériau granulaire, notamment de sa densité et de sa compacité. La norme NF EN 1097-6

fournit une méthode normalisée pour déterminer la masse volumique apparente d'un matériau granulaire. Elle dépend du tassement, de la forme et de la granulométrie des grains. Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis. Elle est comprise entre 1400 kg/m<sup>3</sup> et 1600 kg/m<sup>3</sup> pour les granulats ronds.

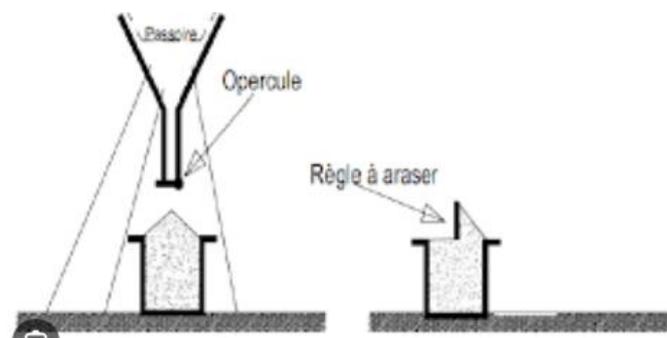
La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue des dosages en volume des différentes composantes du béton.

$$\rho_{app} = \frac{M_1 - M_0}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

**M<sub>1</sub>** : la masse secondaire.

**M<sub>0</sub>** : la masse initiale.

**V** : volume de récipient.



**Figure II.8** : Masse volumique apparente

Les valeurs des masses sont généralement incluses dans l'intervalle suivant :

Sable : 1450 à 1650 kg/m<sup>3</sup>.

Gravier : 1550 à 1900 kg/m<sup>3</sup>.

#### **II.5.4. Masse Volumique Absolue NF EN 1097-3**

L'essai de détermination de la masse volumique absolue selon la norme NF EN 1097-6 est une méthode normalisée utilisée pour déterminer la densité et la compacité d'un matériau granulaire. Cet essai fournit des données qualitatives importantes.

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

**M** : masse des granulats.

**V<sub>2</sub>** : nouveau volume.

**V<sub>1</sub>** : volume initiale .

### II.5.5. Absorption D'eau

L'essai d'absorption d'eau est une méthode essentielle pour évaluer la capacité d'un matériau à absorber l'eau. En mesurant l'absorption d'eau, il est possible de déterminer la porosité et la perméabilité du matériau, ce qui peut avoir un impact significatif sur sa durabilité et sa performance. L'essai d'absorption d'eau est un processus d'évaluation et de sélection des matériaux de construction appropriés pour assurer des structures solides et durables. Il permet aussi d'ajuster la quantité d'eau pour maintenir les classes de consistance lors de la livraison de béton.

$$Ab = \frac{M_h - M_s}{M_s} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

**M<sub>h</sub>** : matériau humide.

**M<sub>s</sub>** : matériau sec.

### II.5.6. Equivalent De Sable (NF P 18-598)

Le sable est un composant essentiel pour la formulation de béton, la norme algérienne exige des conditions d'utilisation fonction de la propriété des sables.

Pour le déterminer il faut réaliser des essais normalisés pour l'équivalent de sable NF P 18-598.

L'essai consiste à séparer le sable des matières argileuses ou fines, qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette ou l'on a effectué l'agitation (plus la valeur de Es est grande, plus le sable est propre).

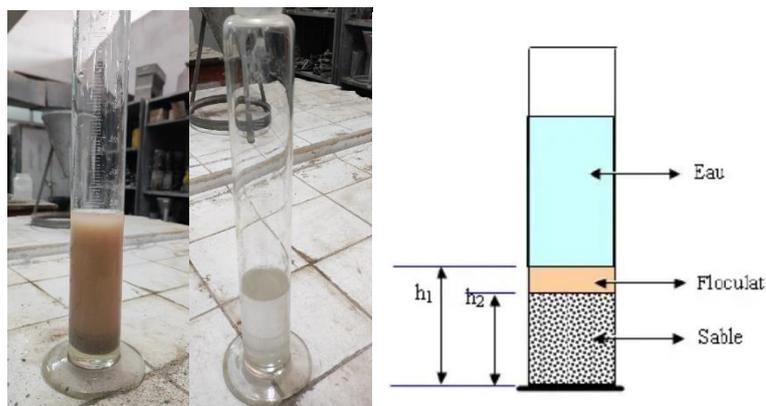
$$Es = \frac{h_2}{h_1} \cdot 100$$

**h** : hauteur.

Critère d'évaluation des sables

**Tableau II.8 :** Equivalent de sable

ES (%)	Nature et qualité du sable
<b>ES &lt; 65</b>	Sable argileux-Risque de retrait ou gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
<b>65 ≤ ES &lt; 75</b>	Sable légèrement argileux- de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait.
<b>75 ≤ ES &lt; 85</b>	Sable très propre-à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
<b>ES &gt; 85</b>	Sable très propre- l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.



**Figure II.9 :** Équivalent de sable

## II.6. ESSAI SUR BETON FRAIS

L'essai de consistance du béton au cône d'Abrams, également connu sous le nom d'essai d'affaissement au cône d'Abrams, est une méthode couramment utilisée pour déterminer de la consistance du béton frais. Cet essai permet d'évaluer la fluidité du béton, qui est un indicateur important de sa maniabilité et de sa capacité à être mis en place et compacté correctement.

La valeur de l'affaissement est comparée aux exigences spécifiées par les normes ou les spécifications techniques applicables pour déterminer si le béton satisfait aux critères de consistance requise.



**Figure II.10.** Cône d'Abrams

### **II.6.1. Utilisation d'adjuvants plastifiant**

Afin de réduire la quantité d'eau pour avoir de béton compacte, des adjuvants sont ajoutés afin d'avoir la consistance requise.

La quantité totale d'adjuvants éventuellement utilisés ne doit pas dépasser le dosage maximal recommandé, défini par le fabricant de l'adjuvant, sauf si l'influence d'un dosage plus fort sur les performances et la durabilité du béton est établie.

## **II.7. ESSAI SUR BETON DURCI**

### **II.7.1. Essai De Résistance En Compression Su Béton**

L'essai de résistance en compression du béton est l'un des tests les plus importants pour évaluer la résistance mécanique du matériau. Cet essai permet de déterminer la capacité du béton à résister à des forces de compression et de vérifier sa conformité avec la classe demandée.



**Figure II.11.** presse de compression du béton

# **RESULTATS**

# **ET**

# **ANALYSES**

## II.8 RESULTATS ET ANALYSES

### II.8.1 Résultat Essai Sur Ciment :

Les essais pour déterminer la Masse volumique, la consistance, les modules de finesse, le début et fin de prise, et la classe de résistance vraie ont été faits conformément aux normes respectives telles que citées au chapitre II, ils sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.9 :** Essai sur ciment

ESSAI SUR CIMENT		RESULTAT
Masse volumique apparente, kg/m <sup>3</sup>		1100
Masse volumique absolue, kg/m <sup>3</sup>		3110
Consistance, %		28
Refus au tamis 80 µm, %		12
Début de prise, heure et minute		1H15
Fin de prise, heure et minute		3H15
Classe de résistance du ciment (CEM II)		42.5
Résistance vraie à la compression (MPa)	2 jours	22.1
	7 jours	33.35
	28 jours	47.64

Les résultats obtenus sont très acceptables et répondent aux exigences réglementaires.

### II.8.2 Résultat Essai Sur Granulats

Les essais établis pour la détermination des caractéristiques physiques tel que mentionnés, à savoir, Micro-Deval, Los-Angeles, propreté, module de finesse, masses volumiques, équivalent de sable, ainsi que l'absorption sont représentés dans le Tableau II.10 suivant :

**Tableau II.10 :** Caractéristiques physiques

Classe	G3/8	G8/15	G15/25	SD	SC	Observation
MD (%)	/	7	/	/	/	Classe. A
LA (%)	/	34.8	/	/	/	Classe. D
Propreté (%)	99.99	99.5	99.8	/	/	Très propres
MF	/	/	/	1.68	2.4	Fin et moyen
Mapp	1.42	1.48	1.39	1.48	1.47	Acceptable
Mabs	2.54	2.75	2.73	2.61	2.74	Acceptable
ES (%)	/	/	/	89.3	85.5	Acceptable
Absorption (%)	1.2	0.8	0.6	1.1	6.7	Acceptable

Pour les caractéristiques mécanique il en ressort que :

**LA** : LA<sub>35</sub> inférieur à 40 de Classe D qui peut être utilisé sans condition NF EN 12620

**M<sub>DE</sub>** : C'est un granulats de classification M<sub>DE</sub>10 de très bonne résistance à l'usure. Indice A

D'après les valeurs de la norme nous remarquons que la valeur des résultats est inférieure à 10 donc la qualité de granulats est très bonne de classe A.

Pour les bétons courants, les granulats de caractéristiques indicées «C» conviennent, ainsi que les granulats dont deux caractéristiques au plus sont indicées «D».

Les granulats du point de vue mécanique peuvent être utilisés en béton.

### II.8.3 ESSAI PHYSIQUE :

**Propreté** : les résultats confirment une faible teneur en particules fines, ce qui est souhaitable dans de nombreuses applications.

D'après nos résultats nous remarquons que les valeurs des masses volumiques apparente et absolue des granulats sont compatibles.

**MODULE DE FINESSE MF** : D'après le tableau on peut dire que les sables Sc et Sd sont des sables à grains moyens et fins convenant parfaitement pour des bétons de bonne qualité associés ensemble.

**ABSORPTION** : Des résultats normaux, ce qui est souhaitable pour les bétons.

**EQUIVALENT DE SABLE Es** : D'après les résultats obtenus dans cette essai on peut dire que le sable est très propres.

**Essai D'aplatissement :**

Pour le coefficient d'aplatissement déterminé selon la norme **EN12350-2** les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

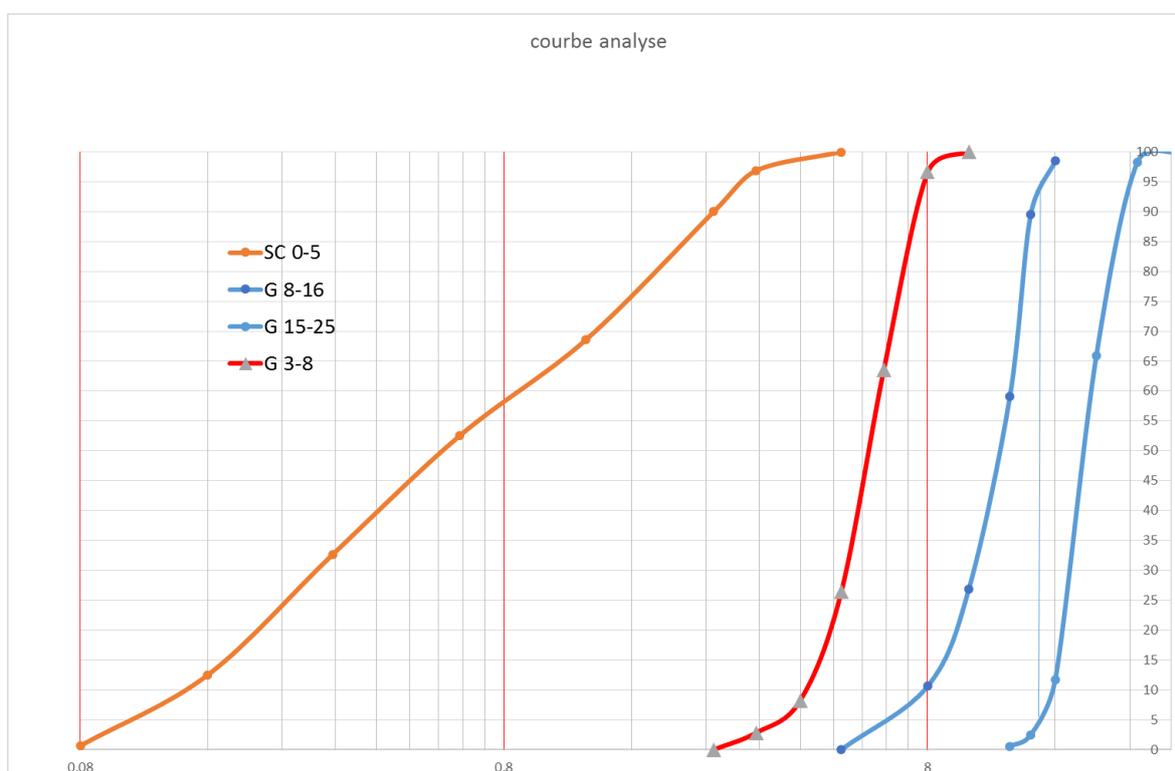
**Tableau II.11** : Coefficient d'aplatissement

Détermination du coefficient d'aplatissement				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grille		
Classe granulaire d/D (mm)	$M_{gi}(g)$	Ecartement des grilles (mm)	$M_{ei}(g)$	$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} \times 100$
20/25	1624	12.5	134	8.05
16/20	1963	10	88	2.45
16/12.5	802	8	34	1.22
M= $\Sigma M_{gi}$ =4389		$\Sigma M_{ei}$ =256		
$A = \frac{\Sigma_j^i M_{ei}}{\Sigma_j^i M_{gi}} \times 100 = 5.83\%$				
8/10	854	5	45	3.25
10/12.5	530	6.3	27.7	2.57
12.5/16	548	10	0	0
M= $\Sigma M_{gi}$ =1932		$\Sigma M_{ei}$ =72.7		
$A = \frac{\Sigma_j^i M_{ei}}{\Sigma_j^i M_{gi}} \times 100 = 3.76\%$				

$A \leq 30$  les valeurs d'aplatissements indiquent que les graviers utilisés ont une forme plutôt grosse favorable à une mise en œuvre dans le béton hydraulique (bonne maniabilité et bonne compacité).

#### II.8.4. ANALYSE GRANULOMETRIQUE (NF EN 933-1)

La courbe granulométrique des différents granulats est déterminée selon la norme **NF EN 933-1** elle est représentée dans le graphe suivant



**Graphe II.1** Analyse granulométrique

La courbe granulométrique représentant le sable de carrière est presque linéaire impliquant un manque d'élément fin ce qui est contraire au but rechercher qui est la pompabilité nécessitant plus d'élément fin.

Pour ce qui est de l'intégration de la fraction 3-8 on remarque aussi quelle n'est pas nécessaire au vue de la discontinuité entrer SC et G 8-16 qui comprend des éléments inférieur à 8 mm de l'ordre de 10%.

La fraction 3-8 comprend on effet 40% de sable conduisant à plus de gros élément dans la fraction 0-5 se qui vas nuire encore d'autant plus à la pompabilité et manque de fine.

Pour les autres fractions on remarque une variation linéaire sans palier de discontinuité ce qui convient bien au béton.

**CHAPITRE. III**

**FORMULATION**

**DES BETONS**

### III.1. INTRODUCTION :

La formulation du béton est un processus scientifique et technique qui nécessite une compréhension approfondie des propriétés des matériaux et des exigences du projet. Des tests et des essais en laboratoire sont souvent réalisés pour s'assurer que le mélange répond aux normes de performance et de qualité requises. Une formulation soigneusement élaborée garantit la durabilité, la résistance et la fiabilité du béton dans une variété d'applications, des fondations aux structures de grande envergure.

La formulation du béton est un processus complexe qui implique plusieurs méthodes et approches. Quelle que soit la méthode utilisée, il est essentiel de prendre en compte les exigences spécifiques du projet, telles que la résistance requise, l'environnement d'exposition, la durabilité et les coûts. Des ajustements peuvent être apportés aux proportions des matériaux, ainsi qu'à l'incorporation d'adjuvants ou d'additifs, pour optimiser les performances et répondre aux critères spécifiques du projet. Il est également important de réaliser des essais réguliers pour s'assurer de la qualité et de la conformité du béton tout au long du processus de fabrication des bétons.

Plusieurs méthodes ont été développées pour aider à optimiser la formulation du béton en termes de compacité, de résistance et d'autres caractéristiques souhaitées. Cependant, il convient de noter que différentes méthodes peuvent être utilisées en fonction des pratiques et des normes spécifiques de chaque région ou pays.

Parmi les méthodes utilisées dans le laboratoire de génie civil de l'université d'Annaba, la méthode de Dreux-Gorisse : cette méthode est une approche de formulation du béton développée par les ingénieurs français Dreux et Gorisse. Elle repose sur la notion de "granulométrie cible" du mélange, c'est-à-dire la distribution optimale des différentes tailles de granulats dans le béton. Cette méthode vise à obtenir une densité optimale, une bonne compacité et une résistance maximale en utilisant une distribution granulométrique spécifique des granulats.

Aussi elle a été développée pour aider à optimiser la formulation du béton en termes de compacité, de résistance et d'autres caractéristiques souhaitées. Cependant, il convient de noter que différentes méthodes peuvent être utilisées en fonction des pratiques et des normes spécifiques de chaque région ou pays.

## III.2. METHODE DE DREUX-GORISSE

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou élancé, de faible épaisseur, faiblement ou très ferrailé, sera d'une importance majeure pour pouvoir mener à bien une formulation de béton.

L'épaisseurs minimale et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferrillées : distance minimale entre elles et couvertures par rapport au coffrage.

La résistance est la caractéristique la plus importante pour les ingénieurs, en plus de la durabilité qui devient une condition majeure pour la bonne tenue de l'ouvrage dans le temps.

Le type de ciment, le dosage sont choisis en général en fonction de l'agressivité du milieu, la grosseur dépend de l'épaisseur des éléments toujours inférieure à  $\frac{1}{4}$  de cette même épaisseur, la consistance quant à elle dépendra de la nature de l'ouvrage plus ou moins massif ou plus ou moins ferrailé, de la mise en œuvre du béton, de la difficulté de bétonnage, des moyens de serrage.

### III.2.1. Les Etapes Pratiques

- ✓ Détermination du rapport C/E.
- ✓ Détermination des dosages en ciment C.
- ✓ Détermination du mélange optimal à minimum de vides.
- ✓ Détermination de la compacité théorique du béton.
- ✓ Détermination du mélange.

### III.2.2. Critère de Résistance :

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique choisie par l'ingénieur pour la conception du projet.

Cette valeur cible doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression  $f_{c28}$  nécessaire à la stabilité de l'ouvrage tel que définie par Dreux.

$$\sigma'_{28} = 1.15 * f_{c28}$$

### III.2.3. Détermination du rapport C/E

Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \cdot \sigma'_c \cdot (C/E - 0,5)$$

Avec :

$\sigma'_{28}$  = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa.

$\sigma'_c$  = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa.

C = Dosage en ciment en kg par m<sup>3</sup> de béton.

E = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m<sup>3</sup> de béton.

G' = Coefficient granulaire fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

### III.2.4. Coefficient Granulaire G'

D'après la méthode de Dreux un coefficient tenant compte de la qualité et de la taille maximale des granulats  $D_{max}$  est introduit selon la classification des granulats qui dépend de leurs résistances à l'usure et au choc. Voir tableau III.1

**Tableau III.1** : Valeurs de G' en fonction des dimensions et qualités des granulats

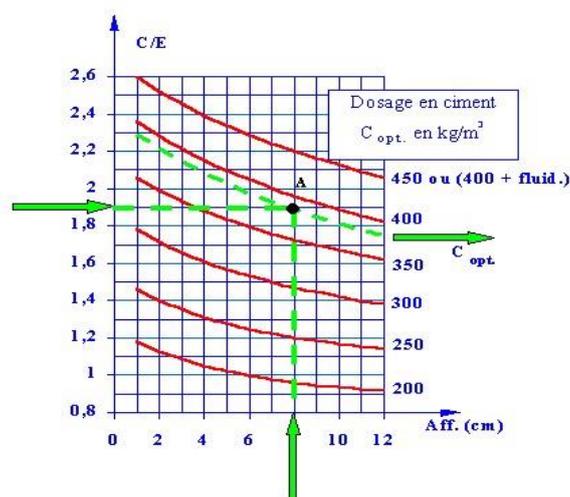
Qualité des granulats	Dimension $D_{max}$ des granulats		
	Fins $D_{max} < 12,5$ mm	Moyens $20 < D_{max} < 31,5$	Gros $D_{max} > 50$ mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions.

### III.2.5. Détermination du dosage d'un Ciment

La valeur de Ciment est déterminée grâce à l'abaque de la figure 1 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams. Ce tableau ne correspond pas au type de béton d'aujourd'hui ou l'introduction des plastifiants est quasi-totale, avec des consistances

demandées plus importantes. Le dosage en ciment est aussi régi par d'autres normes de durabilités.



**Figure III.1 :** Relation rapport C/E, dosage et affaissement.

Une autre correction du dosage est aussi apportée selon tableau III.2 en fonction de la grosseur maximale du granulat utilisé, croissante d'autant que le granulat est petit.

**Tableau III.2 :** Correction sur le dosage de pâte en fonction de  $D_{\max}$ .

Dimension maximale des granulats ( $D_{\max}$ en mm)	5	8	12,5	20	31,5	50	80
Correction sur le dosage de pâte (en %)	+ 15	+ 9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

### III.2.6. Détermination du mélange optimal à compacité maximale

Il s'agit de déterminer d'après la théorie des mélanges les pourcentages de chacun des granulats qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides c'est-à-dire à compacité maximale. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être déterminée par l'intersection de la droite brisée de référence OAB, dont l'équation est donnée par Dreux, et la droite reliant les 5 et 95% des courbes granulométriques des granulats successif utilisés.

### III.2.7. Tracé de la droite de référence de Dreux :

La droite de référence de Dreux OAB représente la fonction idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée reliant le point O et B 100%  $D_{max}$ , dont le point de brisure A est défini par  $X_A$  et  $Y_A$ , définis par :

$$Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K + K_s + K_p$$

Une surélévation de la pente est opérée en relation avec les paramètres K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment,  $K_s$  fonction de la finesse du sable, et  $K_p$  qui tient compte de la façon dont le béton est mis en place.

Son abscisse  $X_A$  et donnée par :

$$X_A = D_{max} / 2 \quad \text{Si } D_{max} \leq 20 \text{ mm}$$

$$X_A = \text{Module } (D_{max} + 38) / 2 \quad \text{Si } D_{max} > 20 \text{ mm}$$

**Tableau III.3.** Valeur du paramètre K donné par Dreux.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Forme des granulats sable en particulier							
Dosage en Ciment	400 + Fluide	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

### III.2.8. Détermination de la composition optimale du béton

Les pourcentages ainsi déterminés ont été calculés sur la base d'un volume absolu d'un solide. Afin de déduire ces quantités un facteur de compacité absolue doit être considéré représentant le volume des solides constituant le matériau. C'est pour cela que les densités absolues sont utilisées, avec une formulation pondérale qui doit correspondre à la fin au volume considéré.

### **III.2.9. Détermination de la compacité absolue du béton**

La compacité du béton correspond au volume absolu en  $m^3$  de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, granulats). Sa valeur de base  $C_0$  est en fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre.

Une compacité théorique est donnée par Dreux pour le mélange, mais celle-ci doit faire l'objet de vérification par un essai de convenance à la fin de la formulation.

**Tableau III.4 :** Compacité du béton en fonction de  $D_{max}$ , de la consistance et du serrage.

Consistance	Serrage	compacité (c <sub>0</sub> )						
		D <sub>max</sub> =5	D <sub>max</sub> =8	D <sub>max</sub> =12,5	D <sub>max</sub> =20	D <sub>max</sub> =31,5	D <sub>max</sub> =50	D <sub>max</sub> =80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Ces valeurs de compacité sont convenables pour des granulats roulés sinon des corrections fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées à la compacité

$$C = (C_0 + C_1 + C_2 + C_3)$$

Le facteur C<sub>1</sub> tient compte de la forme des granulats.

Sable roulé et gravier concassé (C<sub>1</sub> = - 0,01).

Sable et gravier concassé (C<sub>1</sub> = - 0,03).

Le facteur C<sub>2</sub> tient compte de la masse volumique.

Pour les granulats légers C<sub>2</sub> = -0.03

Le facteur C<sub>3</sub> tient compte du dosage en ciment.

$$C_3 = (C - 350) / 5000$$

Connaissant le volume total absolu du béton et les pourcentages en volume absolue de chaque constituant, il est alors possible de déterminer leur masse respective après déduction du volume absolue de ciment préalablement défini:

La composition pondérale sera déterminée à partir de chaque constituant on multipliant chaque volume par sa masse volumique absolue.

### **III.2.10. Corrections de la formulation théorique de béton**

La formulation de béton obtenue précédemment est théorique, elle ne peut en aucun cas constituer une réalité si des essais de laboratoire ne sont pas réalisés.

Des corrections seront apportées avant fabrication et après une série de tests effectués en laboratoire pour ajuster les dosages en eau, granulats et ciment pour la satisfaction en premier des exigences de consistance et de résistance.

La composition théorique de béton est établie pour des matériaux secs. Il est impératif de tenir compte dans la centrale à béton de la réalité d'exposition des granulats aux conditions climatiques et prendre en considération la teneur en eau des granulats. Une mesure de teneur en eau doit être par conséquent effectuée ( $W = \text{Masse d'eau} / \text{Masse sèche}$ ).

### **III.2.11 Essai de convenance**

La formulation pondérale doit être comparée au volume ainsi définie et en fonction des résultats obtenue éventuellement une correction sera apportée sur les granulats.

## **III. 3. COMPOSITIONS RESULTATS ET ANALYSES**

Plusieurs formulations ont été faite afin de prospecter celle qui convient au maximum à notre but recherché.

Pour déterminer les poids des constituants correspondant à notre formulation nous avons déterminé les différents paramètres et coefficient tel que mentionné dans la méthode Dreux-Gorisse exposée précédemment.

Notre béton cible est définie par les spécifications suivantes telle que mentionnée dans la norme NA16002.

- ✓ Environnement XC2.
- ✓ Classe C25/30.
- ✓ dosage Minimale 260 Kg/m<sup>3</sup>.

✓ Béton pompable de consistance S4.

Au début une composition constituée des composants suivants a été faite :

Nous avons utilisé les matériaux existant au niveau de la centrale à savoir, le sable concassé, les granulats G3/8, G8/16 et G15/25.

Le coefficient de correction  $G'$  est pris égal à 0.5 pour un granulats de qualité bonne moyenne

### Tableau III.1.

Le dosage est déterminée en fonction de la consistance désirée **Figure III.1** qui de l'ordre de 400Kg sans Adjuvant.

L'introduction des plastifiant dans la composition nous permet de réduire le dosage à 375Kg /m<sup>3</sup>

**Tableau III.5 :Formulation01**

$f_c$ (MPa)	$\sigma'_{28}$ (MPa)	$\sigma'c$ (MPa)	$G'$ (MPa)	C/E(MPa)	C (MPa)	E (MPa)
25	1.15*25	42.5	0.5	1.85	375	202

Courbe DE référence OAB de Dreux-Gorisse

$$Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K + K_s + K_p$$

Les différents coefficients correcteurs ont été déterminés et sont représentés comme suit :

**Tableau III.6 : Le coefficient k**

K	$K_s$	$K_p$	$D_{max}$
3	-1,2	5	28

$$Y_A = 61.8$$

$$X_A = \text{Module } (D_{max} + 38) / 2 = 15.7$$

L'intégration de la courbe OAB dans l'analyse granulométrique graphe II.1 nous permet de déterminer les volumes absolus des constituants de notre béton .

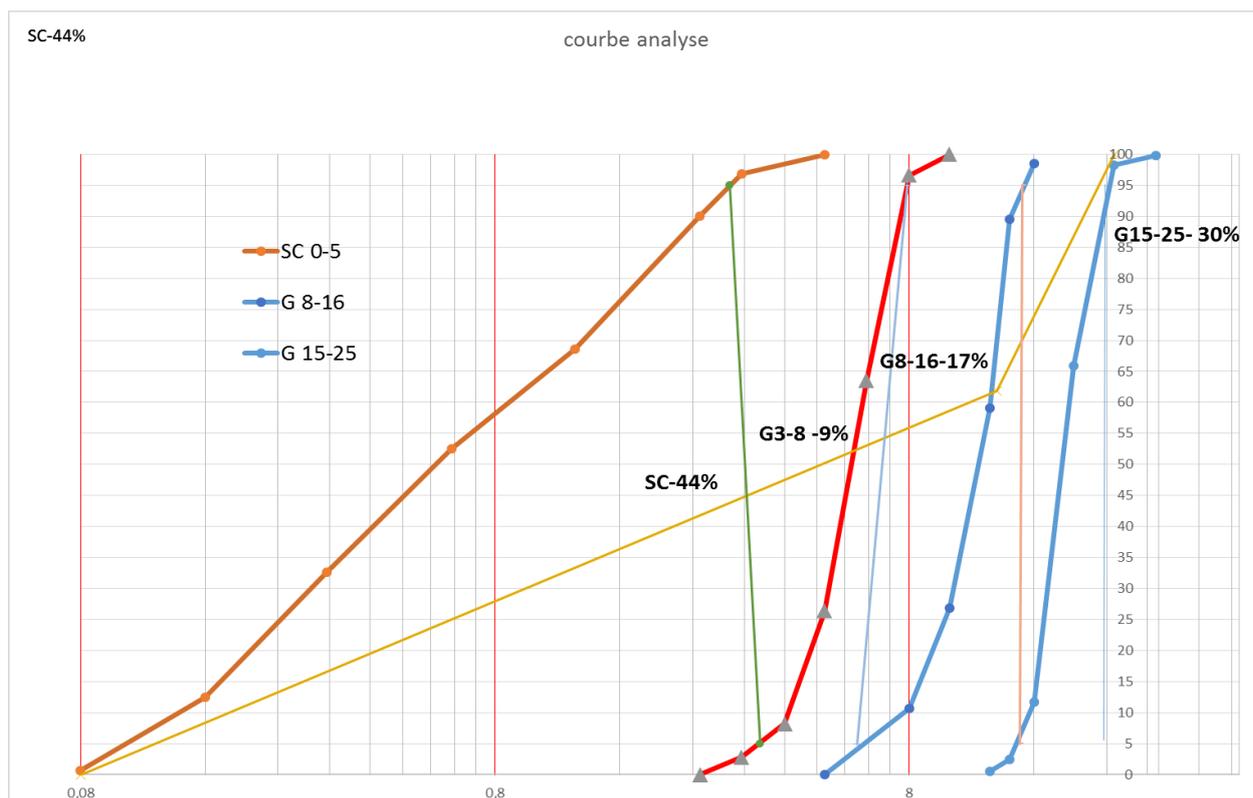


Figure III.2:formulation 01

Au vue des Remarques précédemment déjà signaler le pourcentage de gros granulats semble inadapté pour un béton de caractéristique pompable aussi comportant des éléments plus gros allant jusqu'à 30 mm.

### III.3.1.Détermination de la compacité théorique :

La compacité normale théorique est tirée à partir du tableau de Dreux **Tableau III.4** d'une valeur de 0.812.

Des corrections seront apportées en fonction de de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment.

$$C = (C_0 + C_1 + C_2 + C_3)$$

$$C_0 = 0.812$$

$$C_1 = -0.01 \text{ granulat concassée}$$

$$C_2 = 0 \text{ granulat normal}$$

$$C_3 = +0.005$$

La compacité corrigée  $C = 0.807$

D'où le volume absolu des granulats sera déterminé en enlevant le volume absolu de ciment :

$$V_c = 375/3.1 = 0.12$$

$$V_g = 0.807 - 0.12 = 0.687$$

La composition de béton ainsi déterminé est représentée en poids dans le tableau suivant pour  $1\text{m}^3$  et pour une composition au laboratoire de 10L.

**Tableau III.7 : Pourcentage de la formulation F01**

Composition	Pourcentage des granulats				ciment	Eau	Adj
	Sc	G 3-8	G8-16	G16-25			
	44%	9%	17%	30%			
<b>Compacité</b>	0,687				/	/	/
<b>MV<sub>abs</sub> Kg/m<sup>3</sup></b>	2740	2540	2750	2730	/	/	/
<b>Masse /1m<sup>3</sup> Kg</b>	1205,6	228,6	467,5	819	375	187	1.9
<b>Masse 10L Kg</b>	12,06	2,29	4,68	8,19	3.75	1.87	0.019

Cette formulation n'as pas donnée les résultats voulue pour un béton pompable, la texture du mélange est très graveleuse manquant d'éléments fin.

Notre nouvelle approche au vue des remarques déjà formulées, consiste en une réduction du taux de granulat 16-25 avec une augmentation de 100% du taux 8-16 passant ainsi à 34%, conservant une petite partie des granulats 16/25 en complémentarité.

Nouvelle formulation (F02)

**Tableau III.8 : Pourcentage de la formulation F02**

Composition	Pourcentage des granulats				C	E	Adj
	SC	G 3-8	G8-16	G16-25			
	44%	9%	34%	13%			
<b>Compacité</b>	0,687					/	/
<b>MV<sub>abs</sub> Kg/m<sup>3</sup></b>	2740	2540	2750	2730	/	/	/
<b>Masse /1m<sup>3</sup> Kg</b>	1205,6	228,6	935	354,9	375	187	1.9

<b>Masse 10L Kg</b>	12,06	2,29	9,35	3,55	3,75	1,87	0,019
---------------------	-------	------	------	------	------	------	-------



**Figure III.3 :** Formulation 02

La nouvelle composition a donné un béton meilleur que celui de la formulation F01 mais toujours manquant de fines avec un ressuage et de la ségrégation apparente.

En tenant compte de la partie sable 0-5 dans le granulat 3-8 dont 40% constitue cette frange le module de finesse pour cette proportion composée est égale à 3.4 ce qui explique les caractéristiques du béton obtenu.

De ce fait l'introduction du sable de dune est une nécessité comme déjà elle a été incluse dans la formulation donnée par le labo TEKNACHEM.

L'élimination de la fraction 3-8 s'avère indispensable pour réduire le module de finesse est se contenté de 4 fraction telle que la possibilité de la centrale.

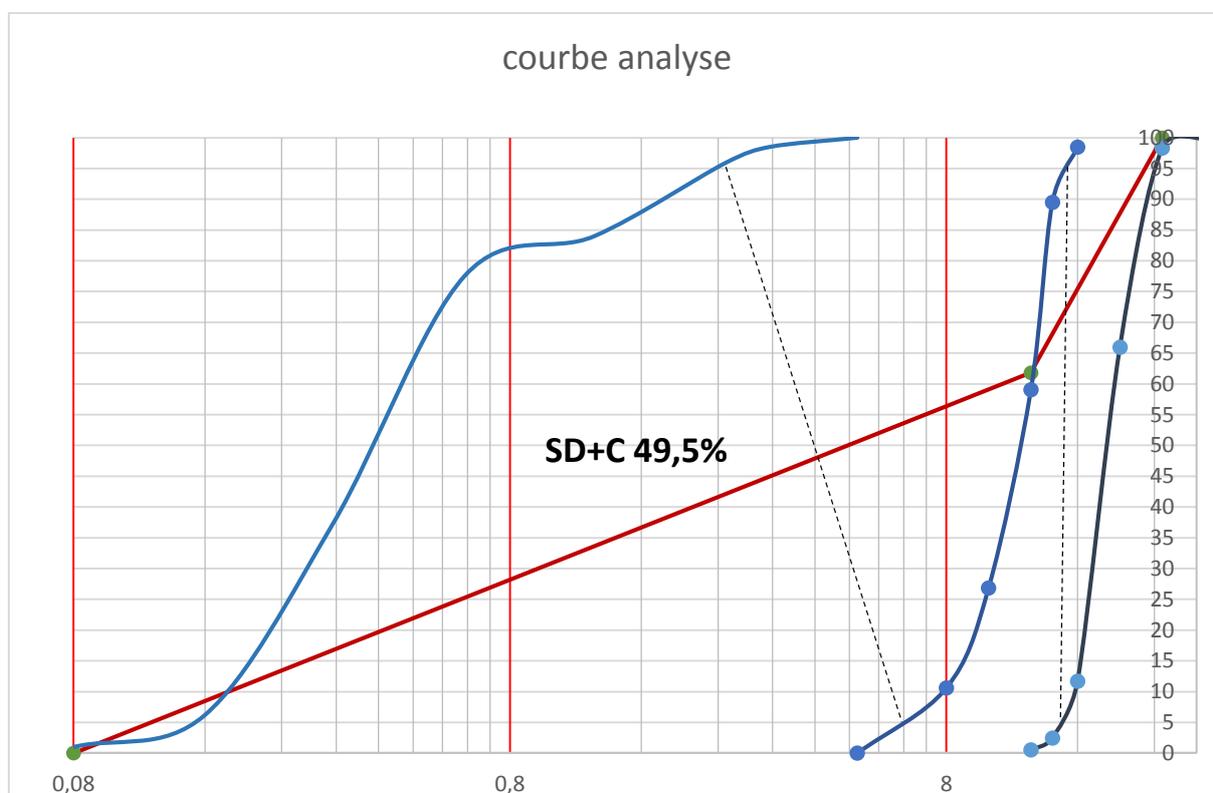
### Formulation 3 (F03)

Un mélange de sable de carrière et de dune a été effectué afin de réduire le module de finesse du mélange des deux sables pour un module de finesse cible de 2.1 favorisant la pompabilité comme préconisé par Dreux ce qui nous a donné le pourcentage suivant du mélange :

**Tableau III.9 :** Mélange de  $M_f$

Mf Sc	2,4	/
Mf Sd	1,6	/
Mfcible	2,1	/
SC (%)	62,5%	62%
SD (%)	37,5%	38%

Le mélange ainsi fait est introduit dans la courbe granulométrique pour la détermination de la nouvelle composition.



**Figure III.4:** Formulation 03

La composition de béton ainsi déterminé est représentée en poids dans le tableau suivant pour 1m<sup>3</sup> et pour une composition au laboratoire de 10L.

**Tableau III.10 :** Formulation 03

Composition	Pourcentage des granulats				Ciment	Eau	Adj
	SC	SD	G8-16	G16-25			
	31%	19%	32%	18%	/	/	0.5%
Compacité	0,687				/	/	/
MV <sub>abs</sub> Kg/m <sup>3</sup>	2740	2540	2750	2730	/	/	/
Masse /1m <sup>3</sup> Kg	583,54	322,8213	604,56	337,5918	375	185	1.9

<b>Masse 10L Kg</b>	5,84	3,23	6,05	3,38	3,75	1,85	0,019
---------------------	------	------	------	------	------	------	-------



**Figure III.5 : formulation03**

Les résultats obtenus sur béton frais ont donné un béton homogène, fluide d'affaissement de 18cm, pâteux, à notre avis pompable.

**Tableau III.11 : Résistance à la compression**

<b>Nombre de jours</b>	2 Jours	7 Jours	14 Jours	28 Jours
<b>Résistance(MPa)</b>	20.02	24.5	35	36.5

Les résistances obtenues sont très favorables de l'ordre de 32 MPa ce qui permet par rapport à un béton cible de 25MPa d'être facilement atteint.

D'autres formulations ont été faites en augmentant la proportion du sable de dune jusqu'à 50% pour les deux sables ce qui a donné aussi de bons résultats comme la formulation F03 mais au niveau coût cette dernière reste la plus performante du point de vue du fabricant pour une concurrence de commercialisation.

## **Chapitre IV**

# **Recommandation pour l'amélioration de la qualité et mise en conformité de la centrale à béton**

Après avoir constatée le fonctionnement de la centrale à béton ainsi que les différents bétons produits et afin d'améliorer la qualité de production tel que mentionné dans la NA.16002 nous tenant à apporter les recommandations permettant de mettre cette centrale à niveau suivantes:

Le Contrôle de qualité doit comprendre :

#### IV.1. MATERIAUX

Les granulats doivent faire l'objet de contrôle selon le tableau suivant tel que mentionné dans la NA.16002 et le DTR-BE 2.1 selon la procédure suivante :

**Tableau.IV.1.** Contrôle des matériaux

Matériaux	Type d'inspection	Objectif	Périodicité
<b>GRANULATS</b>	Examen du bon de livraison	livraison conforme à la commande	<b>A chaque livraison</b>
	Inspection visuelle	aspect normal, granulométrie, forme et teneur en impuretés	<b>A chaque livraison</b>
	Analyse granulométrique	Juger de la conformité avec la granulométrie escomptée	<b>Nouvelle provenance en cas de doute</b>
	Propreté des granulats Equivalent de sable	Evaluer la présence et la quantité d'impuretés	<b>Nouvelle provenance En cas de doute</b>
	Essai d'absorption d'eau	Evaluer la teneur en eau efficace du béton	<b>Périodiquement tous les 300 m3 de béton</b>

#### IV.2. FORMULATION DES BETONS

Il est recommandé qu'elle soit faite par des personnes qualifiées selon les spécificités mentionnées dans la NA.16002. Il faut autant de compositions que de BPS fabriqué par la centrale. La formulation doit être aussi revue périodiquement afin de s'assurer de la conformité de la production chaque fois que nécessaire.

#### IV.3 RODUCTION DU BETON

Elle doit rester conforme à la formulation établis au préalable sans aucun changement si ce n'est par une étude de composition, la prise en compte du changement des propriétés physique des granulats en fonction du taux d'humidité doit être prise en compte par correction systématique de la composition.

#### IV.4. INSPECTIONS ET ESSAIS

Des inspections et essais sont obligatoires surtout pour la consistance sur site de fabrication et site d'utilisation. La procédure suivante peut être adoptée NA.16002 et DTR-BE 2.1.

**Tableau.IV.1.**Inspection et essais

BETON	INSPECTION	OBJECTIF	FREQUENCE
<b>Ouvrabilité</b>	Mesure d'ouvrabilité	Evaluer la conformité	<b>Fabrication</b> Tous les 400M <sup>3</sup> 02/semaine
<b>Résistance</b>	Essai de compression	Evaluer la conformité	<b>Sur site</b> Chaque ouvrage.

Un état de statistiques sera enregistré afin de suivre la qualité et améliorer la production de la centrale.

#### IV.5. PERSONNELS

Un personnel qualifié et expérimenté est nécessaire pour obtenir des bétons de bonne qualité, le processus le plus important dans la réalisation d'ouvrage c'est la qualité du matériau, la bonne tenue la durabilité ne peut être atteinte que si et seulement si le béton répond aux exigences spécifiées.

#### IV.6. BON DE COMMANDE

Etablir un bon de commande d'un béton type ou doit apparaitre au moins les spécifications suivantes :

- ✓ **Classe d'exposition**
- ✓ **classe de résistance ;**
- ✓ **consistance,**

#### IV.7. BON DE LIVRAISON

Etablir un bon de livraison qui doit comprendre au moins les informations suivantes :

- ✓ **Nom de l'utilisateur du béton ou de chantier.**
- ✓ **La date et l'heure.**
- ✓ **Le type et dosage en ciment.**
- ✓ **La consistance.**

- ✓ **Le volume livré ainsi que celui cumulé.**

## **IV.8.CONCLUSION**

Dans le cadres de ce stage en contrôle de qualité des bétons qui a été une expérience enrichissante et permis de développer des compétences techniques et de renforcer les liens entre l'université et l'entreprise.

J'ai travaillé au sein d'une entreprise spécialisée dans la construction et la production de bétons. Mon rôle principal était la vérification de la conformité des bétons produits aux normes et aux spécifications requises. J'ai été impliqué dans toutes les étapes du processus, de l'échantillonnage des matériaux à la réalisation des essais sur les échantillons, à la mise en place du béton dans le coffrage.

Grâce à ce stage, j'ai pu mettre en pratique les connaissances acquises lors de ma formation universitaire en génie civil. J'ai également eu l'occasion de travailler avec des professionnels expérimentés qui m'ont guidé et partagé leur expertise. J'ai appris à utiliser différents équipements et techniques de contrôle.

Ce stage a également été une occasion d'établir des liens solides entre l'université et l'entreprise, offrant ainsi une opportunité d'apprentissage pratique aux futurs Masters. En retour, l'université a pu bénéficier de la collaboration avec l'entreprise, en mettant à disposition son expertise pour des projets de recherche ou des conseils techniques.

La relation entre l'université et l'entreprise a été mutuellement bénéfique. L'entreprise a pu bénéficier des connaissances théoriques et des compétences techniques des étudiants, tandis que les étudiants ont pu acquérir une expérience pratique et comprendre les exigences du monde professionnel. Cette relation a également permis de renforcer les liens entre les deux parties, favorisant ainsi de futures collaborations et échanges.

En conclusion, mon stage en contrôle de qualité des bétons a été une expérience positive qui m'a permis d'appliquer mes connaissances universitaires dans un contexte professionnel. Il a également souligné l'importance de la relation entre l'université et l'entreprise, créant ainsi une synergie bénéfique pour les deux parties.

## Références bibliographiques

[1]	<a href="https://www.google.com/search?q=statistiques+sur+1%27emploi+du+b%C3%A9ton+dans+le+monde&amp;rlz=1C1GCEA_nDZ1026DZ1026&amp;oq=statistiques+sur+1%27emploi+du+b%C3%A9ton+dans+le+monde&amp;aqs=chrome.tions.69i57j33i10i160.13324j0j15&amp;sourceid=chrome&amp;ie=UTF-8">https://www.google.com/search?q=statistiques+sur+1%27emploi+du+b%C3%A9ton+dans+le+monde&amp;rlz=1C1GCEA_nDZ1026DZ1026&amp;oq=statistiques+sur+1%27emploi+du+b%C3%A9ton+dans+le+monde&amp;aqs=chrome.tions.69i57j33i10i160.13324j0j15&amp;sourceid=chrome&amp;ie=UTF-8</a>
[2]	<a href="http://www.guidebeton.com/centrale-a-beton">http://www.guidebeton.com/centrale-a-beton</a>
[3]	NF EN 206+A2, Béton - Spécification, performance, production et conformité - Complément national à la norme, 2022
[4]	<a href="https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/quels-sont-les-constituants-du-beton/">https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/quels-sont-les-constituants-du-beton/</a>
[5]	NA 442, Composition, Spécifications et critères de conformité des ciments courants, 2005
[6]	NF EN 12620+A1, granulats pour béton, 2008
[7]	NF EN 934-2+A1, Adjuvants pour bétons, mortier et coulis - Partie 2 : adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage, 2012
[8]	NF EN 1008, Eau de gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton, 2006
[9]	<a href="https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/fabrication-en-centrale-a-beton/">https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/fabrication-en-centrale-a-beton/</a>
[10]	<a href="https://www.denisbeton.fr/wp-content/uploads/2018/02/DENIS-BETON_Fabrication-du-b%C3%A9ton-2.pdf">https://www.denisbeton.fr/wp-content/uploads/2018/02/DENIS-BETON_Fabrication-du-b%C3%A9ton-2.pdf</a>
[11]	Denis Kaplan, pompage des bétons, LCPC, 2001
[12]	<a href="https://www.infociments.fr/pompage-des-betons#:~:text=Les%20distances%20possibles%20de%20pompage,horizontalement%20et%20100%20m%20verticalement.">https://www.infociments.fr/pompage-des-betons#:~:text=Les%20distances%20possibles%20de%20pompage,horizontalement%20et%20100%20m%20verticalement.</a>
[13]	Frédéric Chapdelaine, Etude fondamentale et pratique sur le pompage du béton, Thèse de Doctorat, Université de Laval, Canada, 2007.
[14]	DE LARRARD François, Formulation, homogénéité et pompabilité, Documents LCPC
[15]	Shilstone, J.M.Sr (1990) Concrete Mixture Optimization, Concrete international, Vol. 12, No. 6, June, pp. 33-39.
[16]	Schwing (1983), Pumping, Concrete and Concrete Pumps – A concrete placing manual, by Karl Ernst v. Eckardstein, 133 p.
[17]	Ragan, Steven A., (1981), Evaluation of tests for determining the pumpability of concrete mixtures, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, miscellaneous paper SL-81-29, Vicksburg, Miss., 1981, 36 p.
[18]	Kempster, E. (1969), Pumpable Concrete, Current Paper No. 29/69, Building Research Station, Garston, aug. 1969.