الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Republique Algerienne Democratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE

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

En : GENIE CIVIL

Spécialité : STRUCTURE

Par : KOUIDRI ABDERRAHMEN

Sujet

Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation des boues de la station d'épuration dans la formulation du béton (Cas de la STEP Ain –Zerroug Tébessa).

Présenté et soutenu publiquement, le 11/06/2025, devant le jury composé de :

Mr. AYEB BELKHIR	MAA	Président
Mr. BOULAARES SAID	MCB	Rapporteur
Mr. SALHI MOHAMED LAMINE	MAA	Examinateur 1

Promotion : 2024/2025

DEDICACES :

FOR THOSE WHO CARED

FOR THOSE WHO HELPED

FOR THOSE WHO WAS THERE NOT KNOWING THAT I EXISTE BUT I'VE SEEN IT ALL

FOR THOSE THAT I'VE SEEN

THEIR STORIES AND NOW IT'S TIME TO TELL MINE

FOR THOSE WHO CAME BEFORE

FOR THOSE WHO ARE AROUND NOW

FOR THOSE WHO COME AFTER

I WISH YOU FIND PEACE WHERE I COULDN'T

I HOPE YOU FIND A PURPOSE SINSE I DIDN'T

IT IS WHAT IT IS I AM WHAT I AM

SUCH IS LIFE

REMERCIEMENTS:

TO THE ONE AND ONLY THE ALL MIGHTY

ALLAH FOR ALL THE PATIENCE HE GAVE ME ALONG THE WAY.

TO

MY DEAR MOTHER.

TO

MY PRESCIOUS SISTER.

TO THE UNIQUE SOULS THAT HELPED ME UNDERSTAND IT ALL TOO EARLLY

AKRAM AND KHALED.

TO THE HEAD DIRECTOR OF THE PURIFICATION STATION FOR ALL HIS ASSISTS AND MAKING MY LIFE MUCH EASIER

M. TOBBA MOURAD.

AND OF COURSE, TO MY TEACHERS THAT SHAPED THIS PATH ALL ALONG.

SPECIAL THANKS GOES TO:

D. BOULAARES SAID

D. MESSAOUD FARID

D. HARKATI ELHADI

D. ATHAMNIA BRAHIM

MAY ALLAH BLESS YOU ALL

LISTES DES SYMBOLES :

BT : béton témoins.

BC : béton avec boue traitée avec chaux.

BN : béton avec boue naturelle.

BI : béton avec boue incinérée.

5% : pourcentage de 5 pour cent du sable ajouté comme boue.

15% : pourcentage de 15 pour cent du sable ajouté comme boue.

LISTES DES TABLEAUX :

Tableau 1.1 : analyse granulométrique du sable.

Tableau 2.1 : analyse granulométrique du gravier 8/15.

Tableau 3.1 : analyse granulométrique du gravier 15/25.

Tableau 4.1 : analyse granulométrique de boue.

Tableau 5.1 : Les masses volumiques.

Tableau 6.1 : Coefficient granulaire G. [19]

Tableau 7.1 : Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable.

Tableau 8.1 : Résultats d'équivalent de sable.

Tableau 9.1 : Les propriétés chimiques de ciment.

Tableau 10.1 : Les propriétés physiques et mécaniques de ciment.

Tableau 11.1 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

Tableau 1.2 : les caractéristiques chimiques de boue.

Tableau 2.2 : List des éprouvette et leur formulation.

TABLEAU 1.3 : Résultats d'affaissement.

TABLEAU 3.3 : Pourcentage d'absorption par immersion totale.

TABLEAU 4.3 : Valeur des masses après absorption par capillarité.

TABLEAU 5.3 : Valeur de L'absorption par capillarité CA.

TABLEAU 6.3 : Perte de masse à la fin de gel dégel.

TABLEAU 7.3 : Les résultats d'essai compression.

Tableau 8.3 : La résistance à la compression.

TABLEAU 9.3 : Le perte de résistance.

Tableau 10.3 : Les résultats de l'essai de flexion.

TABLEAU 11.3 : Les résultats de l'essai traction par fendage**.**

LISTES DES FIGURES :

Figure 1.1 : sable (0/5).
Figure 2.1 : gravier 8/15.
Figure 3.1 : gravier 15/25.
Figure 4.1 : CPJ-CEM 1/A-M(P-L) 42.5R de EL MALABIOD.
Figure 5.1 : l'eau de gâchage.
Figure 6.1 : boue de station d'épuration avant traitement.
Figure 7.1 : début de l'analyse.
Figure 8.1 : fin de l'analyse.
Figure 9.1 : courbe des analyses granulométrique des granulats.
Figure 10.1 : masse volumique apparente.
Figure 11.1 : masse volumique absolue.
Figure 12.1 : tous les etapes de equivalent de sable.
Figure 1.2 : Abaque permettant la détermination de C.
Figure 2.2 : courbe OAB.
Figure 3.2 : Concasseur los-angelos.
Figure 4.2 : boue avant concassage.
Figure 5.2 : boue après concassage.
Figure 6.2 : production des boues.
Figure 7.2 : Boue incinérée.
Figure 8.2 : boue traitée avec chaux.
Figure 9.2 : les trois types de boue utilisée.
Figure 10.2 : la courbe granulaire.
Figure 11.2 : les granulats avant malaxage.
Figure 12.2 : malaxage du béton.
Figure 13.2 : les étapes de confection des éprouvettes.
FIGURE 14.2 : les éprouvettes dans un back d'eau.
Figure 15.2 : les éprouvette le jour de l'essai.
Figure 16.2 : l'essai de mesure de consistance du béton frai.
Figure 17.2 : absorption par immersion totale
Figure 18.2 : échantillon après séchage à 60°C
Figure 19.2 : le principe de l'essai absorption par capillarité.
FIGURE 20.2 : la machine de compression.
FIGURE 21.2 : la machine de flexion (4 points).
Figure 22.2 : machine de traction par fendage.
Figure 1.3 : résultats d'affaissement.
FIGURE 2.3 : pourcentage d'absorption par immersion totale.
FIGURE 3.3 : Les Valeurs de L'absorption par capillarité CA.
Figure 4.3 : béton avant gel dégel.
Figure5.3 : béton après gel dégel.
Figure 6.3 : perte de masse après gel dégel.
Figure 7.3 : essai de compression.
Figure 8.3 : éprouvettes après compression.
FIGURE 9.3 : la résistance a la compression.
Figure 10.3 : des éprouvettes après l'essai.

ملخص:

في إطار تثمين الرواسب الناتجة عن محطة التطهير "عين زروق" بتبسة، قمنا بدراسة بعض الوثائق التقنية. وبأخذ حجم الحمأة المتراكمة والإنتاج السنوي لهذه الرواسب بعين الاعتبار، توصلنا إلى أن هناك حاجة ماسة لإيجاد حل لهذه الإشكالية.

الاقتراح الذي نقدمه في هذا المشروع يتمثل في دمج هذه الحمأة في تركيب الخرسانة، من خلال استبدال أحد المكونات الأساسية، والذي يتمثل في سياقنا هذا في الرمل.

وقد تم اعتماد نسبتي تعويض تبلغان 5٪ و15٪ من الكمية الإجمالية للرمل.

وللحصول على نتائج أكثر تنوعًا وشمولًا، تم إخضاع هذه الحمأة لثلاثة أنواع مختلفة من المعالجة، بهدف استكشاف كل الإمكانيات الممكنة من حيث التحسين أو التأثير السلبي لهذا المكون. وبعد تحضير الخلطات الخرسانية، تم تقسيم العينات إلى مجموعتين حسب أعمار المعالجة: 7 أيام و28 يومًا، وتم إجراء جميع التجارب الممكنة لقياس مختلف الخصائص الميكانيكية والفيزيائية.

شملت التجارب المجراة مقاومة الضغط، مقاومة الشد بطريقة الانشطار، مقاومة الانحناء، دورات التجمد والذوبان، بالإضافة إلى الامتصاص الكلي والامتصاص الشعيري.

وقد تم الحصول على جميع النتائج من خلال تجارب واقعية في مخبر الهندسة المدنية بجامعة تبسة.

ووفقًا لهذه الدراسة، فإن استخدام حمأة الحرق في صناعة الخرسانة يُعد أمرًا ممكنًا وموثوقًا، حيث أظهرت أداءً يقارن، بل ويتفوق أحيانًا، على أداء الخرسانة التقليدية.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة مياه الصرف الصحي، الحمأة، الرمل، المواد الخام، المعالجة، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الميكانيكية، اختبار الخرسانة، صياغة الخرسانة.

RESUME :

Dans le cadre de la valorisation des résidus de la station d'épuration Ain Zaroug Tébessa, nous avons étudié certains documents techniques. En tenant compte du volume de boue accumulé et de la production annuelle de ces résidus, nous sommes parvenus à la conclusion qu'une solution est nécessaire pour remédier à cette problématique.

La proposition que nous avançons pour ce projet est d'intégrer cette boue dans la composition du béton, en substituant l'un des granulats, qui dans notre contexte est le sable.

Le substitut est destiné à deux pourcentages, soit 5% et 15%, de la quantité globale de sable.

Afin d'obtenir des résultats plus variés et complets, cette boue a été soumise à trois types de traitements différents, dans le but d'explorer toutes les possibilités d'amélioration ou d'effet négatif de ce matériau. Après la formulation du béton, les échantillons ont été répartis en deux groupes, selon les âges de 7 jours et 28 jours, et tous les essais possibles ont été réalisés pour mesurer les différents paramètres mécaniques et physiques.

Les essais effectués portent sur la résistance à la compression, la traction par fendage, la flexion, le cycle gel-dégel, ainsi que l'absorption totale et capillaire.

L'ensemble des résultats a été obtenu à la suite d'expérimentations menées en temps réel dans le laboratoire de génie civil de l'Université de Tébessa.

Selon cette étude, l'utilisation de boue d'incinération dans la fabrication du béton s'avère à la fois réalisable et fiable, car elle offre des performances comparables, voire supérieures, à celles du béton traditionnel.

***Les mots clés* :** station d'épuration, la boue, sable, granulats, traitement, paramètre physique, paramètre mécanique, essai sur béton, formulation de béton.

ABSTRACT:

As part of the valorization of residues from the Ain Zaroug Tébessa wastewater treatment plant, we studied certain technical documents. Taking into account the volume of accumulated sludge and the annual production of these residues, we concluded that a solution is necessary to address this issue.

The proposal we are putting forward for this project is to integrate this sludge into the composition of concrete by replacing one of the aggregates, which in our context is sand.

The substitute is intended to represent two percentages, either 5% or 15%, of the total amount of sand.

To obtain more varied and comprehensive results, this sludge was subjected to three different types of treatment, with the aim of exploring all possibilities for improvement or negative effects of this material. After formulating the concrete, the samples were divided into two groups, according to 7-day and 28-day curing ages, and all possible tests were carried out to measure the various mechanical and physical parameters.

The tests performed focused on compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, freeze-thaw cycles, as well as total and capillary absorption.

All results were obtained following real-time experiments conducted in the civil engineering laboratory at the University of Tébessa.

According to this study, the use of incinerated sludge in concrete manufacturing proves to be both feasible and reliable, as it offers performance comparable to, or even better than, that of traditional concrete.

Keywords: sewage treatment plant, sludge, sand, aggregates, treatment, physical parameter, mechanical parameter, concrete test, concrete formulation.

TABLE DES MATIERES

Dédicace 1

Remerciements 2

Liste des symboles 3

Liste des tableaux 4

Liste des figures 5

ملخص 6

Résumé 7

Abstract 8

Table des matières 9

INTRODUCTION GENERALE 13

Introduction générale 14

Contexte 14

Le but de l'étude 14

Présentation de l'étude 15

Quelques travaux sur boues pendant les dernières années 15

Chapitre 1 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX 28

1.1. INTRODUCTION 29

1.2. LES MATERIAUX 29

1.2.1 LE SABLE 29

1.2.2 LE GRAVIER 8/15 30

1.2.3 LE GRAVIER 15/25 30

1.2.4 LE CIMENT 30

1.2.5 L'EAU DE GACHAGE 31

1.2.6 LE DECHET DE STATION D'EPURATION (LA BOUE) 32

1.3 LES ESSAIS SUR MATERIAUX 34

1.3.1 Analyse granulométrique [NF EN 933-1] 34

1.3.2 Masse volumique apparente [NF P18-554] 38

1.3.3 Masse volumique absolue [la norme NF P18-555] 39

1.3.4 Coefficient granulaire 40

1.3.5 Equivalent de sable (NF P18-598) 41

1.3.6 Ciment : 44

1.3.7 L’eau de gâchage : 47
Chapitre 2 : formulation de Béton Et partie Expérimentale 48
2.1 Formulation de béton : 49
2.1.1 La méthode de Dreux-Gorisse : 49
2.1.3 Principe de la formulation de béton (DREUX-GORISSE) 51
2.1.4 Dosages De Béton : 52
2.2 Boue de station d’épuration : 52
2.3 Confection Des Éprouvettes : 59
2.4 Moulage et démoulage : 60
2.5 PRÉSENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX 61
2.5.1 Essai Sur Béton Frais : 62
2.5.1.1 Mesure de la consistance (Norme NF P 18-439) : 62
2.5.2 Essais Sur Béton Durci : 62
2.5.2.1 Absorption totale par immersion totale [NBN B 15-215] [23] 62
2.5.2.2 Absorption d’eau par capillarité [NF EN 480-5] 63
2.5.2.3 L'essai gel-dégel : [NF P18-424] [25] 65
2.5.2.4 Essais destructifs : 65
2.5.2.4.1 Essai de compression : Norme (NF EN 18-455) [25] 65
2.5.2.4.2 Essai de flexion par traction : [NF P18-407] 66
2.5.2.4.3 Essai traction par fendage (l’essai brésilien) [NF P94-422] 67
Chapitre 3 : Résultats et interprétation 70
3.2 Résultats et analyses : 71
3.2.1 Le béton frais : 71
3.2.1.1 Essai d’affaissement : 71
3.2.2 le béton durci : 72
3.2.2.1 les Paramètres physique : 72
3.2.2.1.1 Absorption par immersion totale : 72
3.2.2.1.2 Absorption par capillarité : 74
3.2.2.1.3 l’essai gel dégel : 75
A- l’apparence extérieur avant et après : 7

B- la masse avant et après : 76
3.2.2.2 les paramètres mécaniques : 77
3.2.2.2.1 La résistance à la compression : 77
3.2.2.2.2 la résistance à la flexion : 79
3.2.2.2.3 la résistance à la traction : 82
3.3 Conclusion : 83
Chapitre 4 : Conclusion Générale Et Perspective 83
Conclusion générale : 84
Perspectives : 84
Références bibliographiques 85
Reference 85

INTRODUCTION GENERALE

1. Context

Pendant ces années, la préservation environnementales est conclue dans tous les pays, Des chercheurs de tous les domaines surtout les génies civils font adopter cette idée par réalisation des études concernant le recyclage des résoudre et déchets de tous les sources possibles par l'ajouté dans les matériaux de construction. Cette étude essentiellement vise au recyclage de la boue (déchet de centre d'épuration). Par la réalisation de cette étude on va tester le comportement de béton à base de déchet par des plusieurs essai qu'on va l'explique dans cette mémoire.

Il y a des matériaux extraits de déchets ou recyclés qui font une partie de la composition des plusieurs matériaux de construction ou ils jouent un rôle notable dans l'amélioration de certain propriété physique, chimique et mécanique mais ils sont traits couteuse et non fiable par la technologie qu'il existe dans le temp présent mais l'étude théorique a base des donner pratique de l'laboratoire est toujours nécessaire.

Notre objectif après cette étude est la possibilité d'évaluer pratiquement l'effet des boues de station d'épuration a le comportement général de béton et détermine les paramètre physique et mécanique de ce même béton.

La première partie du mémoire est réservé à l'étude bibliographique, ou on a mentionné les principaux mémoire et publication concernant notre étude. Surtout le les travaux où les auteurs valorise ces matériaux, faire des traitements a c'elle, et l'ajouter dans la formulation de béton.

Le but d'étude :

L'objectif principal de ce travail est d'étudié expérimentalement les effets de déchets des stations d'épuration (la boue) sur le comportement de béton ainsi que la possibilité de recycle les énormes quantités de boue située dans la station d'épuration par ajoutée cette dernier dans la formulation de béton après quelque traitement. Pour ce faire, nous avons divisé notre programme expérimental en 4 chapitres.

2. Presentation de l'étude

Le travail est structuré en ces chapitre :

Introduction générale : ou on discute un contexte général de travail, le but de notre travail, la présentation des chapitres afin les recherches précédentes de ce thème qui est la boue pour déterminé les paramètres on va les étudier.

Chapitre 1 : ou on a une étude globale pour la détermination des caractéristiques physique est mécanique des matériaux de construction pour l'utilisation a la formulation de béton.

Chapitre 2 : est consacré à une étude expérimentale, les essais d'identification des matériaux sont effectués, ainsi que la formulation de ce béton.

Une discussion des résultats obtenus expérimentalement est fournie.

Chapitre 3 : interprétation des résultants expérimental prévue du chapitre 2 et étudié toutes les possibilités pour trouvé une fiable solution pour la recycle par des listes des essais pour assure un regard approfondi pour toutes les caractéristiques de boue dans le béton.

Chapitre 4 : Tous dépendent sur les interprétations on termine le travail avec une conclusion générale ou on discute les résultats et l'avenir de ce recherche et la faisabilité dans le présent.

3. Quelques travaux sur boues pendant les dernières années :

Nous présentons quelques recherches qui ont été menées sur les déchets des stations d'épuration (la boue) dans ces dernières années pour le but de valorise ces matériaux ou cherche des possible solution pour la recyclé et ceci les objectifs, les essais et les résultats de ces études.

En 2010, L'UNIVERSITE DE 08 Mai 1945 de GUELMA Cas du step de Guelma présente par CHIBANI sana L'étude rhéologique des boues permet à connaître les paramètres rhéologiques qui peuvent affecter les opérations de filtration, d'épaississement ou de déshydratation, ainsi que pour le calcul des pertes de charge dans le cadre de la réalisation de systèmes de pompages. De ce fait ce travail consiste à réaliser une évaluation des qualités physico-chimique et rhéologique des boues de station d'épuration. L'objectif étant d'une part de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques des boues et de déterminer d'autre part la possibilité de son utilisation dans agriculture.

En général, Les boues d'épuration doivent avoir un intérêt agronomique, pour cela on doit faciliter l'utilisation de celle-ci. On entend par ça qu'une boue doit pouvoir être stockée, reprise, transportée et

Épandue facilement. Plus que la connaissance de la teneur en matière sèche, la viscosité et la composition physico-chimique sont nécessaires à l'optimisation des procédés de stockage et des techniques d'épandage. Cependant, la qualité variable des boues en sortie de station d'épuration rend hétérogènes les volumes mis en jeu dans le cadre de la valorisation agricole. Cette étude s'attache essentiellement à dégager les caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques communes des boues résiduaires.**[1]**

EN 2012, L'Université Badji-Mokhtar Annaba Faculté des Sciences cas du step de (Souk-Ahras) présente par Guerfi Zouleikha Dans le but de valorisé les boues résiduaires et afin d'améliorer les propriétés des sols de la région de Souk-Ahras. Cette étude basée sur la caractérisation physico-chimique des sols ayant reçu un apport de boue et des sols n'ayant pas reçu de boue d'une part et une caractérisation biochimique des cultures sur ses sols d'autre part. Les quantités apportées restent très faible vue les besoins des sols et elle doit être calculé en tenant compte de la vitesse de minéralisation de la matière organique sous ses conditions climatiques favorable à toute activité biologique. L'effet de l'apport en boue sur la concentration des métaux lourds dans le sol ou dans les végétaux n'a pas été observé. Nous recommandons une poursuite de ce travail sur une longue période toute en utilisant des doses variables et des apports espacés dans le temps.**[2]**

EN 2020, Université cheikh Larbi tebessi Tébessa institue des mines cas du step de Bathioua Oran présente par HARIR Israà et NEDDER Nour Djihane L'objectif principal de cette étude est de déterminer les sources d'émission des métaux dans les eaux usées qui déclassent la qualité des boues. L'étude s'intéresse à étudier les contraintes d'exploitation dues à la présence de boues contaminées ainsi que le risque sanitaire et environnemental. Les résultats obtenus tout au long de ce travail permettent d'affirmer que les boues résiduaires de la station de Bethioua peuvent être valorisées.**[3]**

Le sol est le milieu récepteur d'une grande variété de déchets produits par l'activité humaine ; c'est le cas des boues de stations d'épuration des eaux usées urbaines qui peuvent être éliminées et valorisées en agriculture. Cependant, ces boues renferment parfois des quantités importantes de métaux lourds. L'évaluation de l'impact des épandages de boues sur les sols demande le développement de méthodes d'analyses et d'études, en laboratoire et sur le terrain, qui permettent de prévoir les possibilités de mobilisation et d'accumulation des métaux apportés par les boues.**[3]**

EN 2012, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon présente par Maozhe Chen Des quantités importantes de cendres sont issues de l'incinération des boues de station d'épuration. La caractérisation physique et chimique des cendres et l'étude de leur réactivité ont révélé un comportement intermédiaire entre le ciment et le sable, proche du comportement de matériaux pouzzolaniques. L'influence du taux de substitution du ciment par les cendres sur les propriétés mécaniques des matériaux a également été étudiée. Une évaluation environnementale de ces matériaux a été réalisée par l'essai de lixiviation à l'échelle du laboratoire et à l'échelle pilote. Cette thèse met en évidence une très forte diminution des performances mécaniques (plus de 50 %) de la formulation incorporant les cendres d'incinération après la sollicitation au gel/dégel. Une conséquence de ces résultats pourrait être la diminution de la classe d'exposition. Une caractérisation complémentaire des matériaux pourrait permettre de mieux comprendre les raisons de cette diminution de performance, et ainsi, tenter de pallier ce problème. Cette thèse a exploré la valorisation des cendres de boues de station d'épuration dans le domaine de la construction, ces travaux pourraient servir de méthodologique à d'autres études, comme la valorisation d'autres matériaux secondaires, potentiels. **[4]**

EN 2020, L'UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE Morocco ANNEE 2020 présente par AADRAOUI Mohamed L'étude va étudie deux types de cendres de boues issus de traitement des eaux usées domestiques de la STEP de Khénifra et de Khouribga.

L'objectif principal de cette étude est de valoriser les cendres de boues d'épuration en matériaux de construction. Deux filières ont été mises en œuvre à l'échelle du laboratoire pour les deux cendres de boues étudiées. La première filière consiste en l'incorporation des boues dans la fabrication de clinker de ciment, et la deuxième filière présente l'incorporation des cendres de boues dans le béton et le mortier. Les résultats des caractérisations physiques, chimiques, minéralogiques et géotechniques a permis de discuter de l'adéquation cendres de boues aux filières au regard des critères d'entrée dans les voies de valorisation. Cette étude offre plusieurs perspectives, concernant la filière des ciments, nous avons bien constaté que les cendres de boues calcinées en 950°C étudiées présentent une bonne aptitude pour être utilisées dans un cru de cimenterie pour la fabrication de clinker. À ce sujet, il serait indispensable de tester les performances mécaniques des matériaux fabriquées par ces crues, ceci pourrait permettre de mieux comprendre les effets de l'incorporation des déchets sur les performances mécaniques. Il pourrait également être envisagé de faire une étude environnementale des matériaux obtenus à partir des cendres de boues. **[5]**

EN 2024, à l'Université de 8 Mai 1945 Guelma présente par SERIDI Ines L'objectif principal de ce travail est d'évaluer l'impact de l'incorporation de boues de stations d'épuration sur les performances mécaniques clés que sont la résistance à la compression et la résistance à la flexion des matériaux de construction suivants : le béton, le mortier et la brique.

Plus spécifiquement, les objectifs détaillés sont :

Déterminer l'influence de différents dosages de boue (de 0% à 20% pour le béton et mortier, jusqu'à 60% pour la brique) sur la résistance en compression et en flexion de ces matériaux à différents âges (7, 14 et 28 jours). **[6]**

Analyser et interpréter les résultats obtenus afin de comprendre les mécanismes mis en jeu et les raisons de la dégradation ou non des propriétés mécaniques en fonction du taux d'incorporation de boue. **[6]**

Identifier les dosages critiques au-delà desquels les pertes de résistances mécaniques deviennent trop importantes pour chaque type de matériau.**[6]**

Fournir des recommandations sur les conditions d'incorporation optimales de ces boues selon le matériau visé, en alliant valorisation des déchets et propriétés mécaniques satisfaisantes pour les applications en construction. **[6]**

Après avoir étudié en détail les résultats des essais mécaniques sur les matériaux de construction incorporant les boues de station d'épuration, il convient de récapituler les principales conclusions qui

Peuvent en être tirées. Celles-ci permettront d'orienter les recommandations à suivre pour une valorisation optimale de ces déchets dans le béton, le mortier et la brique, tout en visant le maintien ou l'amélioration des propriétés mécaniques requises. Au-delà de ces recommandations pratiques, il est également important d'identifier les perspectives de recherche futures. Celles-ci visent à approfondir les connaissances, lever les derniers verrous scientifiques et techniques, et envisager les développements à plus grande échelle vers une industrialisation de ces solutions valorisantes et respectueuses de l'environnement. Les conclusions dégagées mettent en évidence le potentiel mais aussi les défis associés à l'incorporation directe des boues dans les matrices cimentaires et argileuses. Les recommandations apportent des pistes concrètes, étayées par la littérature, pour tirer le meilleur parti de ces déchets. Enfin, les perspectives tracent la feuille de route à suivre pour poursuivre ces travaux de valorisation selon une approche à la fois rigoureuse sur le plan scientifique et viable sur les

plans environnemental, technique et économique. L'ajout direct de boues brutes dans le béton, mortier et brique conduit généralement à une diminution des résistances à la compression et à la flexion, d'autant plus marquée que le dosage est élevé. Cette dégradation des performances est liée aux effets perturbateurs de la boue sur l'hydratation des liants hydrauliques, la formation d'une structure dense, ainsi qu'à l'apparition de défauts microstructuraux. Cependant, en suivant certaines stratégies (prétraitement, dosages optimisés, combinaisons d'ajouts, adaptation des liants et de la cure), il est possible de valoriser ces boues tout en maintenant ou améliorant les résistances mécaniques. **[6]**

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj en 2024 présente par Amari Wafa Berkati Lamis L'étude se concentre sur l'incorporation de la boue des stations d'épuration (BSE) comme substitut partiel du ciment dans le béton, afin de réduire les émissions de CO2 associées à sa production. Pour accélérer le processus de prise et de durcissement, des accélérateurs tels que le chlorure de calcium (CaCl2) sont ajoutés. Huit mélanges de mortier ont été préparés, variant les taux d'incorporation de BSE (10%, 15%, et 20%) avec et sans l'ajout de 1% de CaCl2. Les propriétés à l'état frais (étalement) et durcis (résistance à la compression, vitesse ultrasonique, durabilité aux attaques chimiques) ont été évalués. Les résultats indiquent que la BSE présente une résistance similaire ou supérieure à celle d'un mortier conventionnel, tout en conservant une bonne maniabilité. L'ajout de CaCl2 a un impact significatif sur la résistance au jeune âge des mortiers. En conclusion, cette étude démontre le potentiel de la BSE comme matériau alternatif dans la production de béton, offrant des avantages écologiques tout en maintenant des performances mécaniques satisfaisantes, notamment avec l'utilisation judicieuse d'accélérateurs tels que le CaCl2. **[7]**

L'objectif visé dans cette étude est de valoriser un sous-produit vient des eaux usées. Il entre dans le cadre de la valorisation. Il consiste à réaliser un mortier écologique et durable. En utilisant La boue des stations d'épuration (BSE) comme une poudre finement broyée à 80 um pour un taux de substitution de (10-15-20) % et pour faire la comparaison, nous avons préparé un échantillon de référence qui contient 0% d'ajout. Pour compenser la réactivité lente du produit, en ajoute 1% de chlorure de calcium (CaCl2). Après une série d'essais de caractérisation, nous avons tiré les conclusions suivantes

Avec l'ajout de boue, la résistance à la compression est considérablement améliorée à 7 et 28 jours, avec des bénéfices plus importants à mesure que le pourcentage de boue augmente. Les résultats de la combinaison de boue et de CaCl2 sont mitigés. La combinaison de 15% de boue et de 1% de Cacl2 donne le meilleur résultat possible. **[7]**

L'incorporation de BSE cal dans les mélanges de béton réduit la perte de masse due à l'immersion dans une solution acide, tant à 60 jours qu'à 90 jours. Cette amélioration de la résistance à la dégradation

acide est plus prononcée avec des pourcentages plus élevés de vase calcinée, montrant son potentiel en tant que substitut du ciment pour améliorer la durabilité des bétons en environnements acides. **[7]**

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj en 2023 présente par Madoui Khouloud Afin d'éliminer et de valoriser les bio déchets, de nombreuses collectivités ont opté pour une plate-forme de compostage. Les exigences de qualité des composts nécessitent actuellement un nombre important de caractérisations physico-chimiques et biologiques. Nos objectifs ont donc été d'étudier les processus du compostage et de mettre au point une méthode simple et efficace de suivi de l'évolution chimique et biologique des sols pauvre. Notre étude a porté sur un co-compostage de 3 mois en andains constitués d'un mélange de boues de station d'épuration urbaines et de déchets verts broyés. Les composts ont été caractérisés par des paramètres physico-chimiques (analyses élémentaires, matières organiques, substances humiques et métaux lourds) et biologiques qui ont mis en évidence la minéralisation et l'humification de la matière organique. **[8]**

Le résultat obtenu montre qu'après un mois de culture on a trouvé que longueur de plante est presque stable à partir du mélange N° 12 (42.25 cm) par contre les pots de la sole non enrichi par les composte n'a donné aucun résultat d'où les grains d'orge sont pourris. D'où on a opté pour le meilleur pourcentage de Co-compostage qui est 6% boue et 2% de déchet vert. L'analyse des métaux lourds d'après le résultat obtenu montre que la teneur en éléments traces de la boue el le DV ne dépasse pas la norme exigée ce qui ne confère que le co-composte ne pose aucun problème dans l'épandage agricole. D'autre part le pH du mélange de sol amendé avec déférent dose de Co-composte (boues résiduaires urbaine et déchets vert) est légèrement basique. Les meilleures doses donnent un pH de 7,5. La caractérisation des DV et boue mélangée afin d'obtenir un composte montre des résultats similaires concernant le pH et la teneur en MO et une variation de la teneur en MS d'où le meilleure co-compost obtenu montre que le pH at de la teneur en MO presque identiques à celles des composants de départ. Par contre la teneur en MS présente la moyenne des MS des produits de départ. L'analyse de la matière Organique montre que l'augmentation de la matière organique augmente avec l'augmentation du pourcentage du mélange, la meilleure augmentation de longueur des feuilles de la plante est 47,5% pour le mélange N°12. En fin, en peut dire que le Co-compostage des boues de station de traitement des eaux usées et les déchets verts donnent des résultats très significatifs dans le domaine d'épandage agricole. **[8]**

Chapitre 1 :

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX.

1.1. INTRODUCTION :

Toutes les études de formulation des bétons sont basées sur la connaissance des différentes caractéristiques de tous les composants du mélange en vue de lui offrir les meilleures performances**.**

On va présenter dans ce chapitre les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude.

1.2. LES MATERIAUX :

1.2.1 LE SABLE :

Sable d'une classe 0/5 (Figure 1.1) d'origine de la carrière de Sable El Houche, OUM ALI, TEBESSA



Figure 1.1 : sable (0/5)

1.2.2 LE GRAVIER 8/15 :

Un granulat de classe granulaire entre 8 et 15 mm (Figure 2.1)



Figure 2.1 : gravier 8/15

1.2.3 LE GRAVIER 15/25 :

Un granulat de classe granulaire entre 15 et 25 mm (Figure 3.1)



Figure 3.1 : gravier 15/25

1.2.4 LE CIMENT :

Le ciment CPJ-CEM 1 42.5 (P-L) provenant de la cimenterie de EL MALABIOD TEBESSA (Figure 4.1). Répond à la norme Algérienne NA 442.

Figure 4.1 : CPJ-CEM 1/A-M(P-L) 42.5R de EL MALABIOD

1.2.5 L'EAU DE GACHAGE :

C'est l'eau potable du laboratoire.

1.2.6 LE DECHET DE STATION D'EPURATION (LA BOUE)

Dans les stations d'épuration la boue (ou boues d'épuration) est un résidu semi-solide produit lors du traitement des eaux usées (Figure 6.1). Elle contient des matières organiques, des minéraux, des micro-organismes et parfois des polluants.

1.2.6.1 Origine et composition des boues d'épuration :

Elles proviennent :

1. Du décanteur primaire : Boues primaires (matières solides décantées).
2. Du traitement biologique (boues activées) : Boues secondaires riches en bactéries ayant dégradé la pollution.

1.2.6.2 Utilisations des boues après traitement :

Avant réutilisation, elles sont épaissies, déshydratées et stabilisées (pour réduire odeurs et pathogènes). Ensuite, elles peuvent être :

1.Valorisées en agriculture (engrais naturel) :

- Riche en azote, phosphore, matière organique.
- Réglementation stricte (limites en métaux lourds, polluants).

2. Incinérées (production d'énergie) :

- Utilisées comme combustible dans des usines d'incinération.

3. Mises en décharge (solution moins écologique, en diminution).

4.Compostées : Mélangées à des déchets verts pour faire du compost.

5.Utilisées en génie civil :

- Après stabilisation, pour couvrir des décharges ou aménager des terrains.

1.2.6.3 Problèmes et enjeux.

- Polluants : Risque de métaux lourds, microplastiques, résidus médicamenteux.
- Coût : Le traitement et l'élimination représentent ~50% des coûts d'une station.
- Écologie : La valorisation agricole est privilégiée, mais sous contrôle.



Figure 6.1 : boue de station d'épuration avant traitement.

1.3 LES ESSAIS SUR MATERIAUX :

1.3.1 Analyse granulométrique [NF EN 933-1]

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage (norme NF EN 933-1) c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation des grains selon leur grosseur des éléments constituant l'échantillon, en employant des tamis à maille carrée (figure 7 et figure 8) d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension. **[13]**

1.3.1.1 But de l'essai :

L'analyse granulométrique a pour but de détermine la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituent l'échantillon.

1.3.1.2 Principe de l'essai :

L´essai consiste à fractionner au moyen d´une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l´échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableau ou graphique.



Figure 7.1 : début de l'analyse Granulométrique.



Figure 8.1 : fin de l'analyse Granulométrique.

1.3.1.3 Calculs et résultat :

L'analyse granulométrique est faite selon la norme NF P18-560 **[14]**, la masse testée répond à la condition générale suivante :

$$200D < M < 600\ D$$

D : taille maximale des granulats.

Les résultats de l'analyse granulométrique obtenus des différents granulats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

SABLE 0/5

TAMIS	REFUS (g)	Refus cum (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
6.3	7	7	0.14	99.86
5	9	16	0.32	99.68
4	16	32	0.64	99.56
3.15	39	71	1.42	98.58
2.5	20	91	1.82	98.18
1.6	166	257	5.14	94.86
0.63	1351	1608	32.16	77.84
0.315	2184	3792	75.84	24.16
0.08	1043	4835	96.7	3.3
FONT	165	5000	100	O

Tableau 1.1 : analyse granulométrique du sable

GRAVIER 8 /15

TAMIS	REFUS (g)	Refus cum (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
20	9	9	0.18	99.82
16	195	204	4.08	95.92
14	689	893	17.86	82.14
12.5	1401	2294	45.88	54.12
10	1864	4158	83.16	16.84
8	450	4608	92.16	7.84
6.3	334	4942	98.84	1.16
5	27	4969	99.38	0.62
FONT	31	5000	100	0

Tableau 2.1 : analyse granulométrique du gravier 8/15

GRAVIER 15/25

TAMIS	REFUS (g)	Refus cum (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
25	68	68	1.36	98.64
20	1712	1780	35.6	64.4
16	2880	4660	93.2	6.8
14	229	4889	97.78	5
12.5	55	4944	98.88	2.22
10	18	4962	99.24	1.12
FONT	38	5000	100	0

Tableau 3.1 : analyse granulométrique du gravier 15/25

Déchet de boue 0/5

TAMIS	REFUS (g)	Refus cum (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
6.3	16	16	0.32	99.68
5	25	41	0.82	99.18
4	33	74	1.48	98.52
3.15	47	121	2.42	97.58
2.5	35	156	3.12	96.88
1.6	200	356	7.12	92.88
0.63	1488	1844	36.88	63.12
0.315	1906	3750	75	25
0.08	1176	4926	98.52	1.48
FONT	74	5000	100	0

Tableau 4.1 : analyse granulométrique de boue

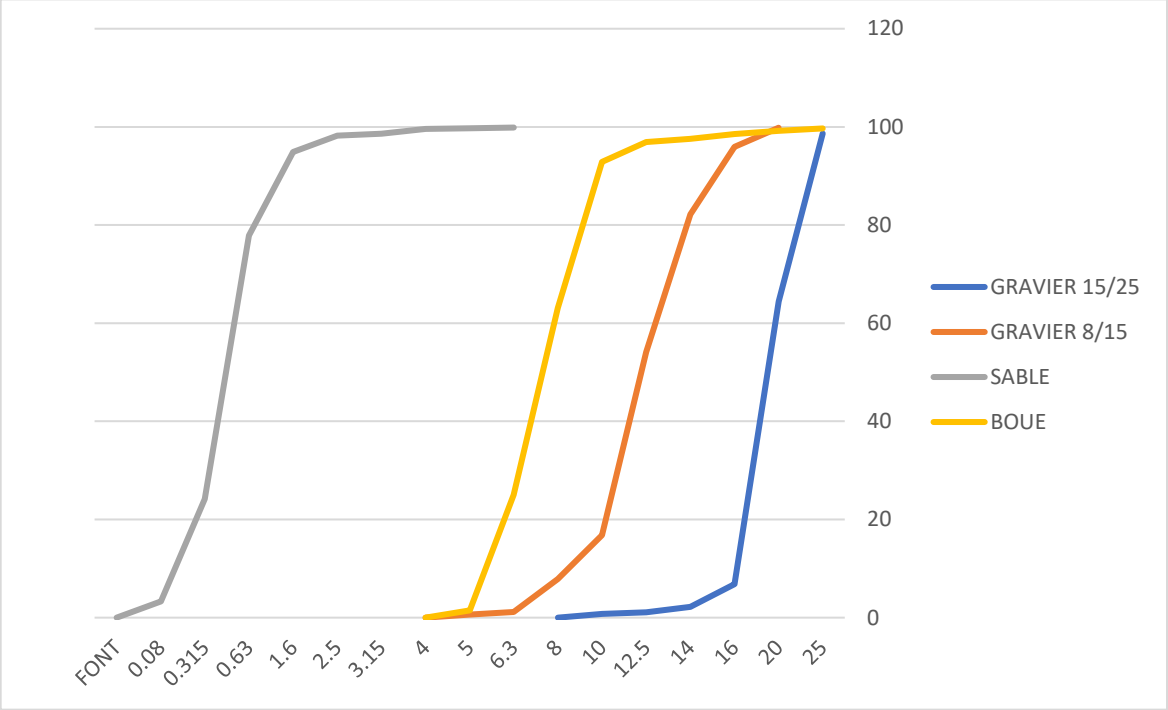


Figure 9.1 : courbe des analyses granulométrique des granulats.

Commentaire : le courbe montre que toutes les composantes de notre formulation ont des granulométries continue.

1.3.2 Masse volumique apparente [NF P18-554]

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps c'est-à-dire celle du volume constitué par la nature du corps et les vides qu'elle contient. La masse volumique apparente est mesurée par un récipient d'un litre (figure 10.1, figure 11.1, figure 12.1 et figure 13.1). **[15]**

1.3.2.1 Principe :

Remplit un récipient d'un volume connu et en déterminer la masse.



Figure 10.1 : masse volumique apparente

Donc la masse volumique apparent est égale :

$$\rho_{ap} = \frac{M}{V}$$

Avec

ρ_{ap} : masse volumique apparente (g/cm^3)

M : masse de l'échantillon de granulats (g)

V : volume du récipient utilisé pour la masse (cm^3)

1.3.3 Masse volumique absolue [la norme NF P18-555]

C'est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains

A l'aide d'une éprouvette graduée on peut facilement déterminer cette valeur :

* On remplit l'éprouvette de liquide inerte vis-à-vis de l'échantillon étudier jusqu'au niveau V1.

* On rajoute une masse M de l'échantillon à étudier.

* On lit le niveau actuel du liquide, soit V2.

La masse volumique absolue :

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



Figure 11.1 : masse volumique absolue

Le tableau suivant résume les résultats de l'essai des masses volumiques pour les différents matériaux utilisés :

Les matériaux	**Gravier (8/15)**	**Gravier (15/25)**	**Sable (0/5)**	**boue**
Masse volumique apparente (kg/L)	1.362	1.323	1.435	1.760
Masse volumique absolues (kg/L)	2.651	2.466	2.61	2.88

Tableau 5.1 : les masses volumiques.

Commentaire

La masse volumique absolue pour les granulats est > 2 g/cm^3, selon la norme NF P18-301 ce sont des granulats courants utilisés pour les bétons hydrauliques courants.

1.3.4 Coefficient granulaire :

Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats Dmax. Ce coefficient a déterminé la qualité des granulats.

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

Tableau 6.1 : Coefficient granulaire G [19]

Commentaire :

Le diamètre max est 25 mm donc Le coef granulaire est 0.5 donc notre granulat est moyen courante.

1.3.5 Equivalent de sable (NF P18-598)

Pour les sables, la propreté peut se contrôler par l'essai d'équivalant de sable.

L'essai consiste à :

Remplir une éprouvette graduée jusqu'au 1er trait.

Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 min,

Boucher l'éprouvette, et la faire agiter 90 fois aller et retours dans le sens horizontal puis replacée verticalement,

Laver le sable avec une solution lavant, et laisser reposer l'ensemble pendant 20 min,

Mesurer la hauteur du sable propre (h_2') et la hauteur du sable propre + éléments fins (h_1),

La mesure de h_2' n'est pas toujours aisée, ce qui conduit à faire la mesure la plus précise : ES.

Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer h2.

L'équivalent de sable visuel (ESV) est défini par :

$$ESV = \frac{h_2^{'}}{h_1} \times 100$$

L'équivalent de sable est défini par

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

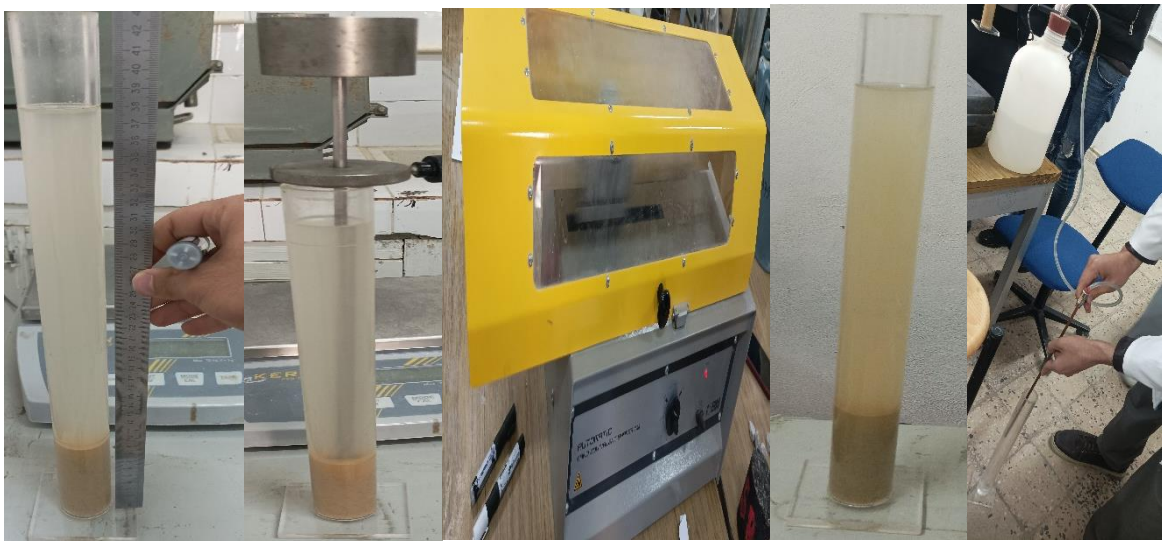


Figure 12.1 : tous les etapes de equivalent de sable.

Equivalence de sable Par piston et visuel	Nature et qualité du sable
SE < 60	Sable argileux- Risque de retrait ou de gonflement. à rejeter Pour des bétons de qualité.
60 ≤ SE < 70	Sable légèrement argileux- de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
70 ≤ SE < 80	Sable propre- à faible pourcentage de fines argileuses convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
SE > 80	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.

Tableau 7.1 : Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable **[16]**

Lectures	**Prise n°1**	**Prise n°2**	**Prise n°3**
h_1	10.5	9.4	9.3
h_2	9.2	8.3	8.2
h_2'	8.9	8.6	7.5
Sur chaque prise			
ESV	87.61	88.29	88.17
ESP	84.76	91.48	80.64
Sur l'échantillon			
ESV	88.02		
ESP	85.62		

Tableau 8.1 : résultats d'équivalent de sable

Commentaire : ESV > 80 et ESP > 80 donc le sable est très propre et absence presque totale de fines argileuses.

1.3.6 Ciment :

Le ciment utilisé dans cette étude est un CPJ-CEM 1(P-L) de classe 42,5 (Figure 4) provenant de la cimenterie de EL MALABIOD TEBESSA.

Les propriétés physico-chimiques ont été étudiées conformément la norme algérienne (NA 443) et européenne (NE CE 197-1). Les essais effectués sur les constituants sont :

1.3.6.1 L'analyse chimique

Les caractéristiques chimiques et minéralogiques sont présentées dans le tableau 1.1 (donner par le laboratoire de GICA) **[17]**

Caractéristique chimique de ciment		
Eléments	Garanties NA442	Teneur %
SiO_2	/	18.73
Al_2O_3	/	4.38
Fe_2O_3	/	3.31
CaO	/	59.93
MgO	/	1.62
K_2O	/	0.67
Na_2O	/	0.23
SO_3	≤3.5%	2.36
CT	≤0.1%	0.0173
P.A.F (NA235/2005)	/	5.37
CaO Libre	/	0.91
Résidus insolubles (NA236/2005)	/	1.69

Tableau 9.1 : Les propriétés chimiques de ciment **[17]**

1.3.6.2 L'analyse physique et mécanique

Les propriétés physiques et mécaniques sont présentées dans le tableau 1.2 (donner par le laboratoire de GICA). **[17]**

Surface spécifique Blaine (NA231/2006)		cm^2/g	/	4298
Consistance normale (NA230/2010)		$\%H_2O$	/	26.78
Temps de prise (NA230/2010)	début	min	≥60 min	115
	Fin	min	/	176
Expansion à chaud (NA232/2002)		mm	≤10	0.64
Refus sur tamis 45µm (NA231/2006)		%		9.66
Chaleur d'hydratation (NA5061/2006)	120 heurs	j/g	≤270 j/g	LH

Résistance la traction (NA234/2007)	02 jours	MPa	/	5.26
	07 jours	MPa	/	6.56
	28 jours	MPa	/	7.55
Résistance à la compression (NA234/2007)	02 jours	MPa	≥10	24.26
	07 jours	MPa	/	37.16
	28 jours	MPa	≥42.5 ≤62.5	46.50

Tableau 10.1 : Les propriétés physiques et mécaniques de ciment **[17]**

1.3.6.3 Classe vrai de ciment

Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie σ'c	45 MPa	55 MPa	> 60 MPa

Tableau 11.1 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments. **[18]**

Chapitre 2 : formulation de Béton Et partie Expérimentale

2.1 Formulation de béton :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définit le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réalisé un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré **[20]**.

Plusieurs méthodes de formulation ont été élaborées par : **ABRAMS**, **BOLOMEY**, **CAQUOT**, **FAURY**…etc.

Dans notre cas, nous avons choisi la méthode ((**DREUX-GORISSE**)) parce qu'elle est une méthode assez simple et facile à utiliser.

2.1.1 La méthode de Dreux-Gorisse :

La méthode est basée sur la notion de granulométrie optimale, qui consiste à déterminer la courbe granulométrique qui donne les meilleures propriétés du béton en termes de résistance et de maniabilité. Pour ce faire, la méthode utilise des courbes expérimentales de granulométrie optimale en fonction de la classe de résistance et de la taille maximale des granulats. **[21]**

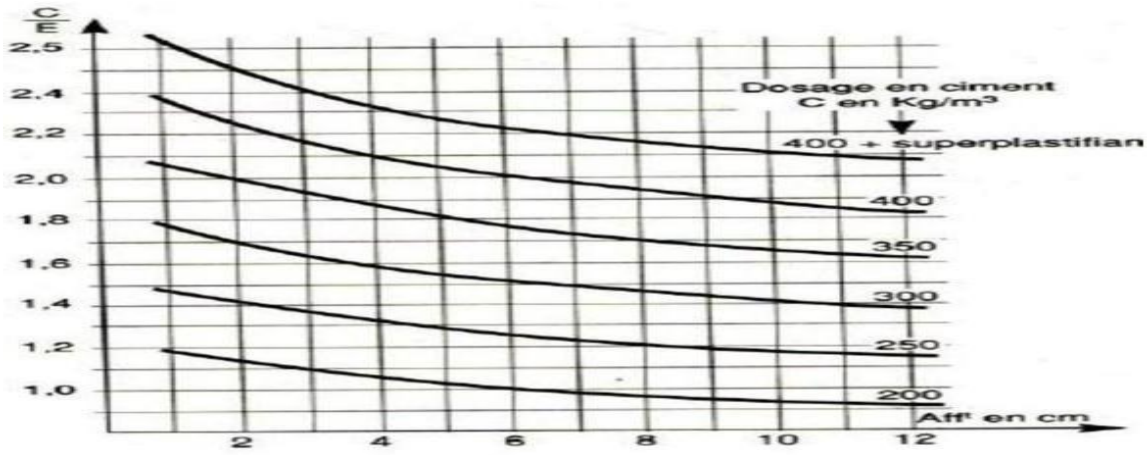


Figure 1.2 : baque permettant la détermination de C. **[22]**

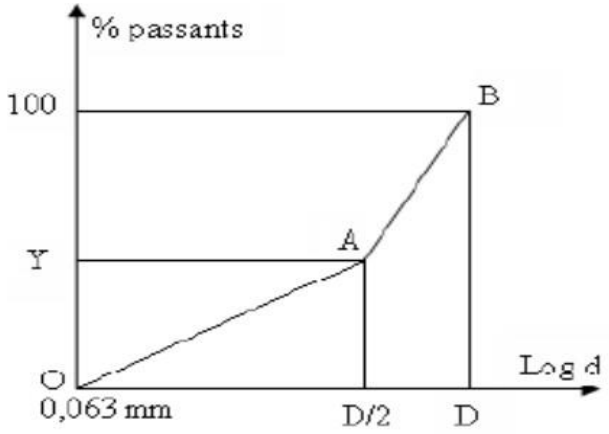


Figure 2.2 : courbe OAB**[22]**

On trace une composition granulaire de référence OAB Le point B correspond à la dimension D des plus

Gros granulats, c'est-à-dire :

Point B (X= Dmax et Y=100 %) Point O (X= 0.063 et Y= 0)

La méthode de Dreux-Gorisse comprend les étapes suivantes :

-Détermination de la classe de résistance du béton en fonction de l'application et de l'environnement.

-Détermination de la taille maximale des granulats en fonction de la classe de résistance et de la taille des éléments de la structure.

-Détermination de la granulométrie optimale en fonction de la classe de résistance et de la taille maximale des granulats.

-Calcul de la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une consistance optimale du béton en utilisant la courbe d'abattement.

Calcul des quantités de ciment, granulats et adjuvants nécessaires pour obtenir la proportion optimale en fonction de la granulométrie optimale et de la quantité d'eau.

Vérification des proportions du béton en effectuant des essais sur des échantillons.

La méthode de Dreux-Gorisse permet d'obtenir des bétons de qualité en utilisant des Proportions optimales des différents composants

2.1.3 Principe de la formulation de béton (DREUX-GORISSE) :

La méthode de formulation de béton DREUX-GORISSE est largement utilisée dans l'industrie de la construction pour produire des bétons de haute qualité et répondre aux exigences spécifiques des Projets.

1-Les granulats doivent être choisis en fonction de leur taille, leur forme et leur texture pour obtenir le béton souhaité.

2-Détermination du dosage de ciment : Le dosage de ciment dépend de la résistance à la Compression requise et des caractéristiques des granulats. **[22]**

3-Détermination du rapport eau/ciment : Le rapport eau/ciment est déterminé en fonction de la résistance

à la compression requise et des caractéristiques des granulats**[22]**

4-Vérification de la consistance du béton : La consistance du béton doit être vérifiée pour s'assurer Qu'elle est conforme aux spécifications. **[22]**

5-Vérification de la résistance à la compression : La résistance à la compression du béton doit être vérifiée

Pour s'assurer qu'elle est conforme aux spécifications. **[22]**

2.1.4 Dosages De Béton :

Le besoin de notre étude sont quatre types de bétons :

Béton témoin BT : est un mélange ordinaire formulé à partir de trois classes granulaires : sable, gravillon (8/15) et gravillon (15/25).

Béton modifie BN, BC et BI : est un mélange formulé à partir de trois types de boue :

1-Béton avec boue naturelle BN constitue de sable, gravillon (8/15) et gravillon (15/25) et 5%, 15% de boue calculée de la masse totale du sable.

2-Beton avec boue incinérée BI constitue de sable, gravillon (8/15) et gravillon (15/25) et 5%, 15% de boue calculée de la masse totale du sable.

3- Béton avec boue traitée avec chaux BC constitue de sable, gravillon (8/15) et gravillon (15/25) et 5%, 15% de boue calculée de la masse totale du sable.

Le béton « témoin », **BT** étudié est un béton ordinaire de dimension maximale des granulats :

Dmax = 15 mm et dosage en ciment : **C = 350kg/**m^3. La résistance visée à 28 jours est : 25MPa.

2.2 Boue de station d'épuration :

Pour notre étude on a choisi trois types de boue pour l'ajoutée dans la formulation de béton est sont les suivant :

2.2.1 Boue naturelle séchée à l'air :

La boue qu'on a apportée de la station d'épuration reste à l'air pendant trois jours après on la concasse a lose-angelos pour avoir les diamètre désirée (entre 0 et 5).



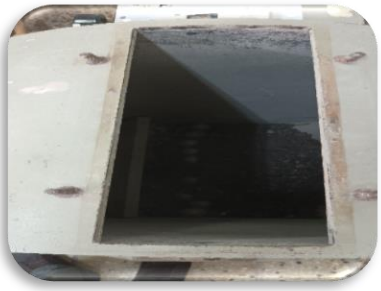


Figure 3.2 : Concasseur los-angelos



Figure 4.2 : boue avant concassage



Figure 5.2 : boue après concassage

(Boue naturelle)

2.2.1.1 Caractéristique chimique de boue :

Rapport d'essais N° 042/2024 Page 1/1

Identification échantillon

N° Demande	E005/2024	Réf bon de commande	SI 21/0398
Code échantillon	LC-2024/ 022	Prélèvement effectué par	Client
Date de prélèvement	19/01/2024	Quantité/volume prélevé	500 g
Date de réception	22/01/2024	Nature des flacons	Polyethyléne
Date début des essais	22/01/2024	Nature de l'échantillon	Boue sechée
		Etat de l'échantillon	Frais
Provenance	STEP TEBESSA		
Motif des analyses	CONTRÔLE STEP		

Résultats des essais

Paramètres	Méthodes	Résultats	Unités
Nickel	ISO 8288	22	mg/Kg
Cuivre	ISO 8288	84	mg/Kg
Cadmium	ISO 8288	3	mg/Kg
Plomb	FD T90-112	38	mg/Kg
Chrome	NF EN 1233	22	mg/Kg
Zinc	ISO 8288	440	mg/Kg

Tableau 1.2 : les caractéristiques chimiques de boue.

2.2.1.2 Les quantité de boue produite entre 2023 et 2024 :

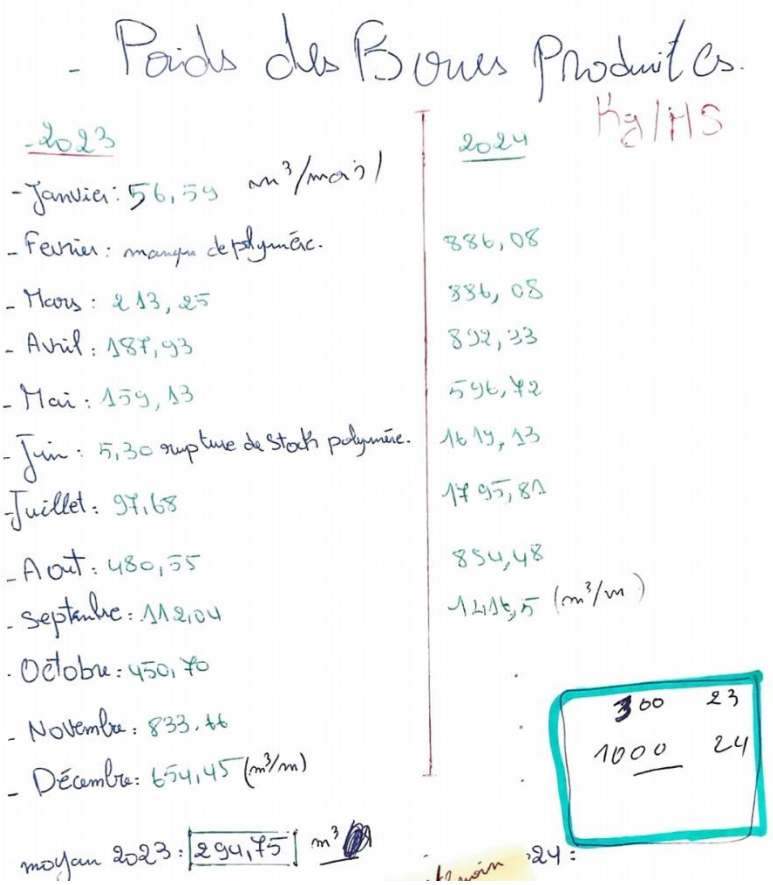


Figure 6.2 : production des boues

2.2.2 Boue incinèrée :

Après on obtient la boue naturelle finale (figure 15) on l'incinère a une dégrée de 800° à 1200° puisque ces la température de chaminaux appliqué directement d'après littérature et recherche et l'incinération arrête après 30 min.



Figure 7.2 : Boue incinère

2.2.3 Boue traité avec chaux :

On ajoute 5% de chaux à la boue naturelle et on le laisse 24 heures pour des réactions chimiques entre la boue et la chaux se produise pour améliorer certain caractéristique chimique et physique de la boue.



Figure 8.2 : boue traité avec chaux

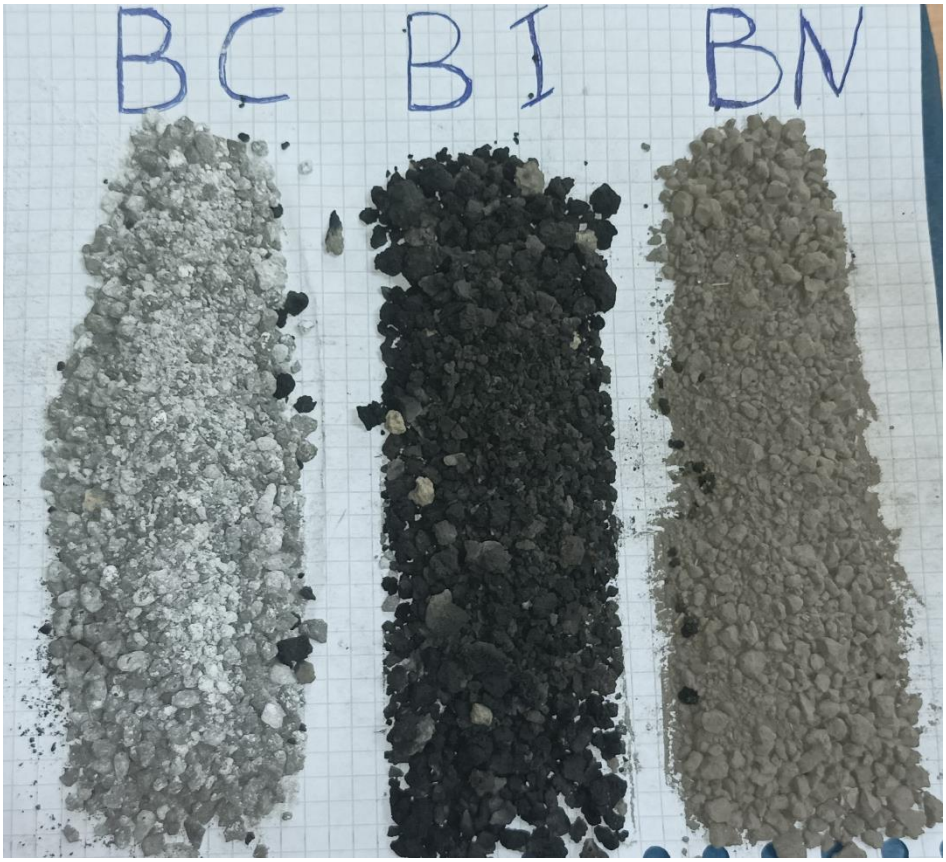


Figure 9.2 : les trois types de boue utilise

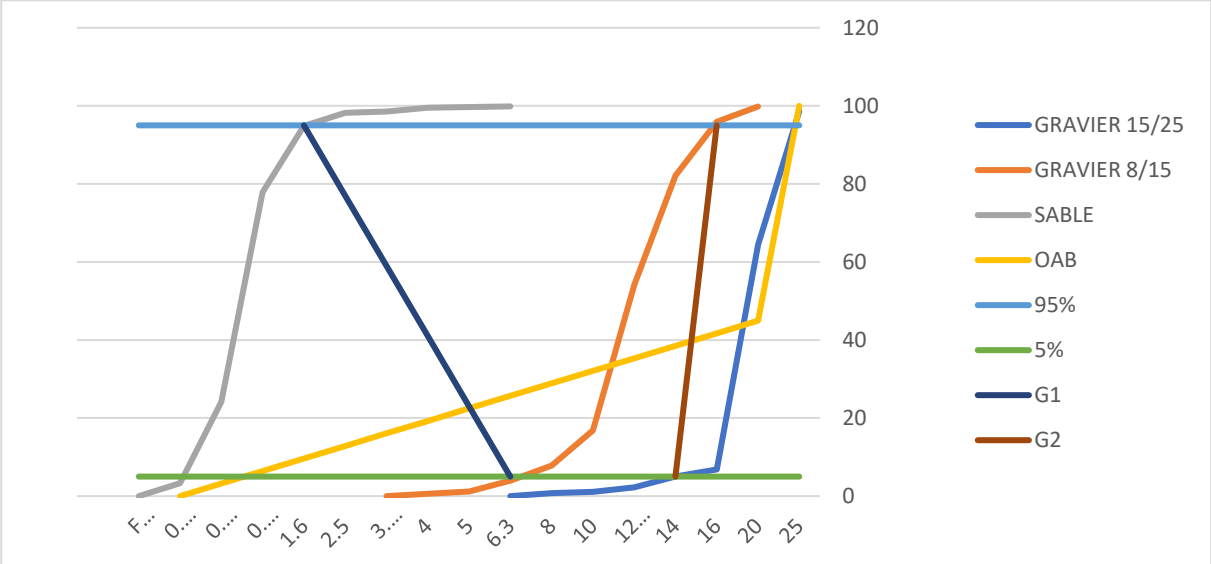


Figure 10.2 : la courbe granulaire

Types d'essai	N°eprouvette	Échantillon	Dosage de béton (Kg)					
			SABLE	G 8/15	G 15/25	BOUE	CIMENT	EAU
Comp+ abs	1	BT7j	0.815	0.78	0.55	0	0.45	0.17
Comp+ abs	2	BT28j	0.815	0.78	0.55	0	0.45	0.17
Traction	3	BT7j	5.23	5.028	3.38	0	2.7	1.08
Traction	4	BT28j	5.23	5.028	3.38	0	2.7	1.08
Flexion	6	BT7j	3.27	3.14	2.1	0	1.68	0.67
Flexion	7	BT28j	3.27	3.14	2.1	0	1.68	0.67
Comp+ abs	8	BI 5% 7j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17
Comp+ abs	9	BI 5% 28j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17
Comp+ abs	10	BN 5% 7j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17
Comp+ abs	11	BN 5% 28j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17
Comp+ abs	12	BC 5% 7j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17
Comp+ abs	13	BC 5% 28j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17

Comp+ abs	14	BI 15% 7j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
Comp+ abs	15	BI 15% 28j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
Comp+ abs	16	BN 15% 7j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
Comp+ abs	17	BN 15%28j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
Comp+ abs	18	BC 15% 7j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
Comp+ abs	19	BC 15% 28j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
Traction	20	BI 5% 7j	4.97	5.028	3.38	0.26	2.7	1.08
Traction	21	BI 5% 28j	4.97	5.028	3.38	0.26	2.7	1.08
Traction	22	BN 5% 7j	4.97	5.028	3.38	0.26	2.7	1.08
Traction	23	BN 5% 28j	4.97	5.028	3.38	0.26	2.7	1.08
Traction	24	BC 5% 7j	4.97	5.028	3.38	0.26	2.7	1.08
Traction	25	BC 5% 28j	4.97	5.028	3.38	0.26	2.7	1.08
Traction	26	BI 15% 7j	4.45	5.028	3.38	0.78	2.7	1.08
Traction	27	BI 15% 28j	4.45	5.028	3.38	0.78	2.7	1.08
Traction	28	BN 15% 7j	4.45	5.028	3.38	0.78	2.7	1.08
Traction	29	BN 15%28j	4.45	5.028	3.38	0.78	2.7	1.08
Traction	30	BC 15% 7j	4.45	5.028	3.38	0.78	2.7	1.08
Traction	31	BC 15%28j	4.45	5.028	3.38	0.78	2.7	1.08
Flexion	32	BI 5% 7j	3.11	3.14	2.1	0.16	1.68	0.67
Flexion	33	BI 5% 28j	3.11	3.14	2.1	0.16	1.68	0.67
Flexion	34	BN 5% 7j	3.11	3.14	2.1	0.16	1.68	0.67
Flexion	35	BN 5% 28j	3.11	3.14	2.1	0.16	1.68	0.67
Flexion	36	BC 5% 7j	3.11	3.14	2.1	0.16	1.68	0.67
Flexion	37	BC 5% 28j	3.11	3.14	2.1	0.16	1.68	0.67
Flexion	38	BI 15% 7j	2.78	3.14	2.1	0.48	1.68	0.67
Flexion	39	BI 15% 28j	2.78	3.14	2.1	0.48	1.68	0.67
Flexion	40	BN 15% 7j	2.78	3.14	2.1	0.48	1.68	0.67
Flexion	41	BN15% 28j	2.78	3.14	2.1	0.48	1.68	0.67
Flexion	42	BC 15% 7j	2.78	3.14	2.1	0.48	1.68	0.67
Flexion	43	BC15% 28j	2.78	3.14	2.1	0.48	1.68	0.67
GEL DEGEL	44	BT28j	0.815	0.78	0.55	0	0.45	0.17
GEL DEGEL	45	BI 5% 28j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17
GEL DEGEL	46	BN 5% 28j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17

GEL DEGEL	47	BC 5% 28j	0.77	0.78	0.55	0.04	0.45	0.17
GEL DEGEL	48	BI 15% 28j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
GEL DEGEL	49	BN 15%28j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17
GEL DEGEL	50	BC 15%28j	0.69	0.78	0.55	0.123	0.45	0.17

Tableau 2.2 : List des éprouvette et leur formulation

2.3 Confection des éprouvettes :

Pour notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé :

Moules cubiques (10×10×10) cm^3.

Moules prismatiques (10×10×40) cm^3

Moules cylindrique (R =16, H=32) cm^3

Le malaxage est exécuté à l'aide d'un malaxeur, les étapes de malaxage sont :

1-l'ajout de tous les granulats dans le malaxeur (sable, gravillon et un type de boue) et fait le malaxage pendant 3 min afin d'assurer une bonne dispersion des granulats parmi les éléments traditionnels du béton.

2-l'ajout du ciment et fait le malaxage pendant 1min.

3-l'ajout du l'eau et fait le malaxage pendant 2min.



Figure 11.2 : les granulats avant malaxage



Figure 12.2 : malaxage du béton

2.4 Moulage et démoulage :

Après le malaxage, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour facilité le démoulage après 24 heures de leur coulage.

Le remplissage des moules est exécuté en deux couches, chaque couche est piquée par 25 coups. Le but de piquage est le remplissage parfait du moule.

A la fin du coulage, il faut arasée les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes

NF P18-422 et NF P 18-423. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai



Figure 13.2 : les étapes de confection des éprouvettes.

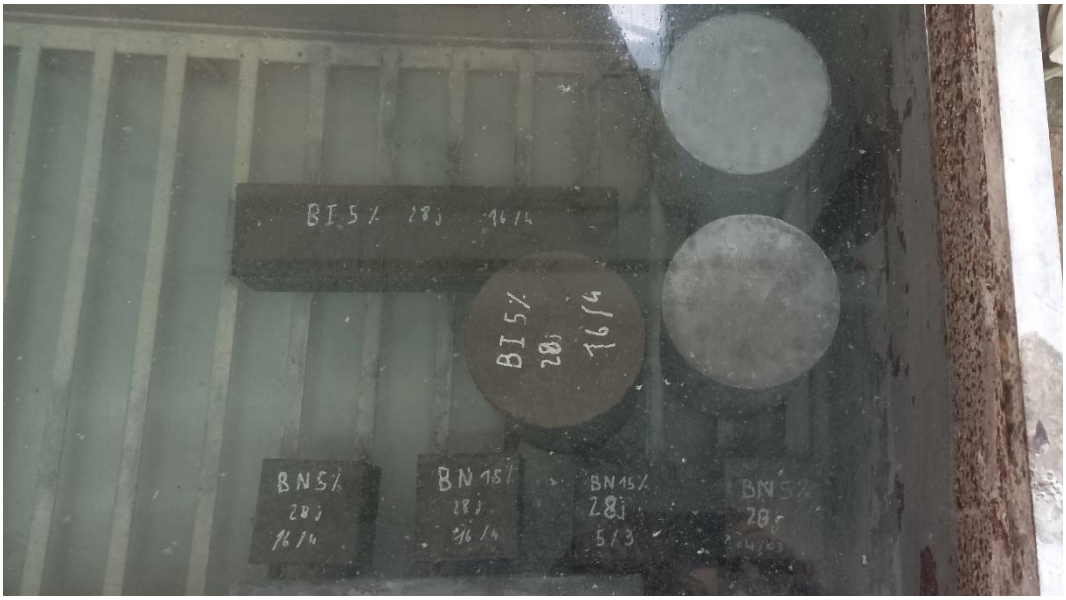


FIGURE 14.2 : les éprouvettes dans un back d'eau.



Figure 15.2 : les éprouvette le jour de l'essai.

2.5 PRÉSENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX :

Les Différents essais sur béton ordinaire et béton de boue sont présenté dans cette partie de l'étude :

2.5.1 Essai Sur Béton Frais :

2.5.1.1 Mesure de la consistance (Norme NF P 18-439) :

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui Consiste à :

1-Moulé des troncs de cône en béton (base de diamètre 20cm, partie haute de diamètre 10cm).

2-Remplit le cône en trois couches piquées chacune par 25 coups avec une tige métallique de 16 mm de diamètre a extrémité arrondie.

3-Soulevée le moule avec précaution et mesurer la hauteur l'affaissement en cm.



Figure 16.2 : l'essai de mesure de consistance du béton frai.

2.5.2 Essais Sur Béton Durci :

2.5.2.1 Absorption totale par immersion totale [NBN B 15-215] [23]

But de la mesure :

Certains matériaux granulaires peuvent présente une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, l'eau incluse dans le granulat provoque

L'éclatement du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

Le principe de l'essai consiste à détermine la variation de la masse d'un échantillon de béton immergé dans un bac d'eau jusqu'à une masse constante, soit la masse *M1*

Après séchage à 60°C, soit la masse *M2*

L'absorption d'eau par immersion *AW* est exprimée en pourcentage de la masse sèche est calculée par la relation suivante :

$$A_w = \frac{M_1 - M_2}{M_2} 100\%$$

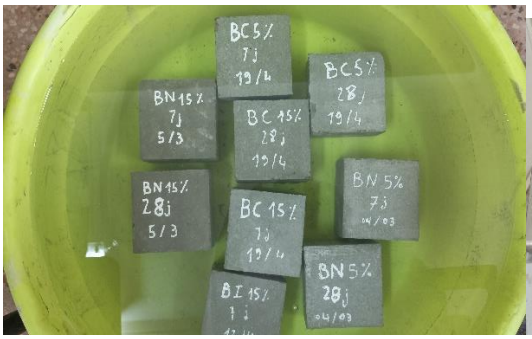


Figure 17.2 : absorption par immersion totale

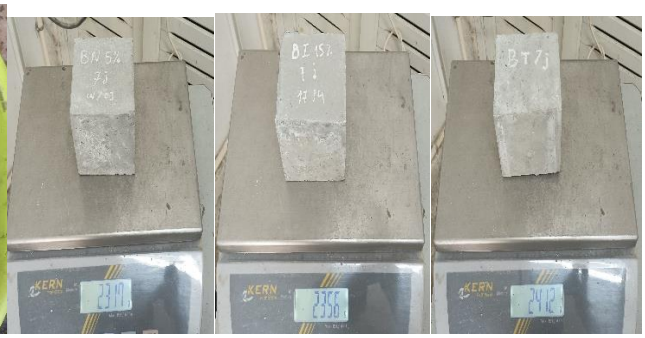


figure 18.2 : échantillon après séchage à 60°C

2.5.2.2 Absorption d'eau par capillarité [NF EN 480-5]

Conduite de l'essai

1-les éprouvettes cubiques du béton sont conservées jusqu'à l'âge de 28 jours dans l'eau.

2-ces cubes sont extraite de l'eau et chauffées dans une étuve à 60°C jusqu'à une masse constante.

3-les faces latérales des éprouvettes sont imperméabilisées par la résine dont le but de force l'eau à adopte un cheminement uni-axial et évite l'évaporation par ces mêmes faces.

4-Après le séchage complet de la résine, les éprouvettes sont immergées dans une nappe d'eau de hauteur 3mm durant 48 h.

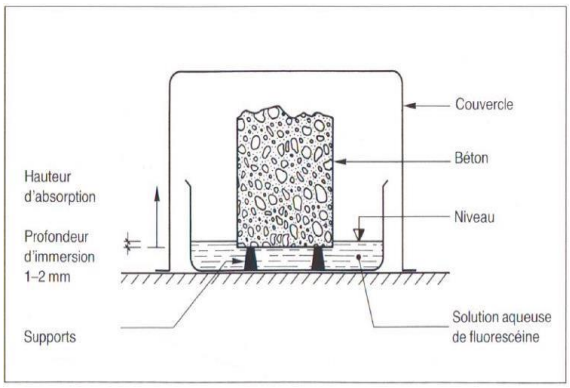


Figure 19.2 : le principe de l'essai absorption par capillarité.

$$CA = \frac{Mj - M0}{S2}$$

Avec

Mo : masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en gramme.

MJ : masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes. S : section de la base de l'éprouvette en millimètre c'est-à-dire 100mm. **[24]**

2.5.2.3 L'essai gel-dégel : [NF P18-424] [25]

L'essai gel-dégel est un test de résistance et de durabilité effectué sur des matériaux de construction (comme le béton, les mortiers, les céramiques, etc.) pour évaluer leur capacité à supporte les cycles répétés de gel et de dégel sans se détériorer de manière significative.

Principe de l'essai :

Lorsque l'eau contenue dans les pores d'un matériau gèle, elle augmente de volume, ce qui peut provoquer des contraintes internes et des microfissures. En répétant ces cycles, on simule les conditions climatiques hivernales pour vérifier si le matériau conserve ses propriétés mécaniques et son intégrité.

Critères d'évaluation :

- Perte de masse après un nombre défini de cycles (100 cycles).
- Diminution de la résistance mécanique.
- Apparition de fissures ou d'éclatements.

Conduite de l'essai :

1-les éprouvettes cubiques sont conservées jusqu'à l'âge de 28 jours dans l'eau.

2-les cubes sont extraite de l'eau et conservées dans une étuve à 60°C jusqu'à une masse constante.

3-D'apres la norme NF P18-424 les cube sont refroidis à une température négative de -18°C pour le gel et de +20°C pour le dégel.

4- Apres 100 cycle on mesure la masse de l'échantillon et note la perte de masse.

2.5.2.4 Essais destructifs :

2.5.2.4.1 Essai de compression : Norme (NF EN 18-455) [25]

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique (10×10×10) cm, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 1500KN.

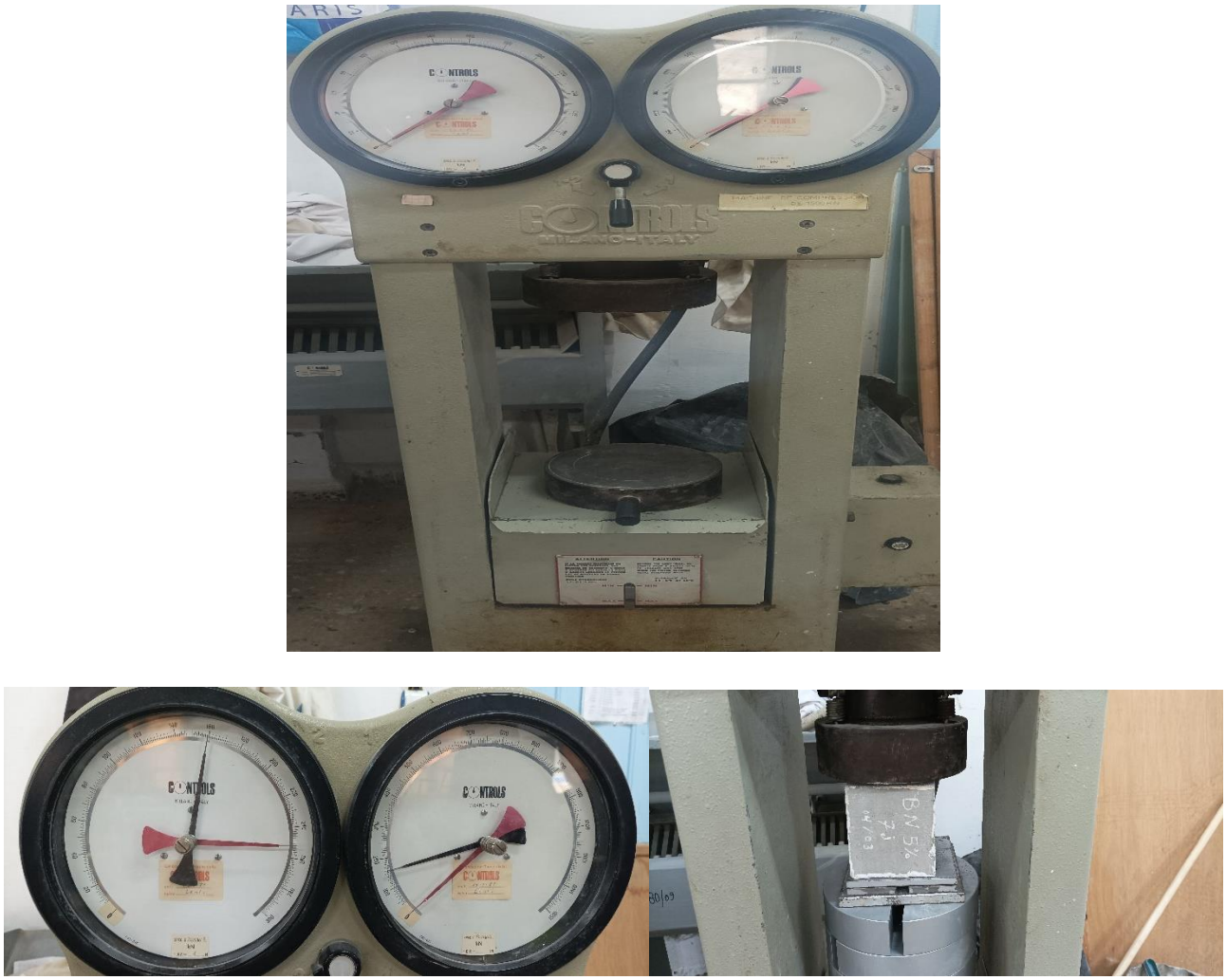


FIGURE 20.2 : LA MACHINE DE COMPRESSION

2.5.2.4.2 Essai de flexion par traction : [NF P18-407]

L'essai de flexion par traction est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (10x10x40) cm3 selon les normes NF P18-407, il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (4 points) de l'éprouvette soumise à un effort exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

La formule générale pour le calcul de la résistance à la flexion est donner comme suit :

$$\sigma_f = \frac{F \cdot L}{b \cdot d^2}$$

Où :

: résistance a la flexion par MPA

F : la charge appliquer

L : distance entre les appuis extérieurs

b : largeur de l'éprouvettes

d : hauteur de l'éprouvettes



FIGURE 21.2 : LA MACHINE DE FLEXION PAR TRACTION (4 POINT)

2.5.2.4.3 Essai traction par fendage (l'essai brésilien) [NF P94-422]

L'essai brésilien est une méthode expérimentales indirecte utilisée pour déterminer la résistance à la traction de béton. Il consiste à appliquer une charge de compression diamétrale sur une éprouvette cylindrique jusqu'à sa rupture puis à déduire la traction par calcul théorique

Principe de l’essai

1-Éprouvette : un disque de diamètre D et d’épaisseur L est place entre les plateaux d’une presse.

2-Chargement : une force P est applique progressivement le long d’un diamètre générant une contrainte de traction transverse au centre de l’éprouvette.

3-Rupture : la fissuration se produit perpendiculairement à la direction de chargement permettant de calculer la résistance à la traction.

L’essai de traction par fendage est réalisé sur des éprouvettes cylindrique (16 x 32) cm selon les normes NF P94-422.



Figure 22.2 : machine de traction par fendage

Formule de calcul de la résistance à la traction t :

L'effort de traction est calculé à partir de la charge maximale Pmax appliquée lors de l'essai :

$$\sigma_t = \frac{2P\text{max}}{\pi DL}$$

Où :

- = Résistance à la traction (en MPa)

- Pmax = Charge maximale appliquée (en N)

- D = Diamètre de l'éprouvette (en mm)

- L = Longueur (ou épaisseur) de l'éprouvette (en mm)

Chapitre 3 :

Résultats et interprétation

3.1 INTRODUCTION :

Cette partie de notre mémoire est consacré à l'étude expérimentale des diffèrent caractéristiques (physique et mécanique) de notre béton à base de déchet (boue).

Les résultats de cet essai sont présentés sous forme de tableau et des graphes avec des commentaire analytique afin de réalisée une conclusion générale qui résume la totalité de ce travail.

3.2 Résultats et analyses :

3.2.1 Le béton frais :

3.2.1.1 Essai d'affaissement :

Le tableau 3.1 et la figure 3.1 représente les résultats d'affaissement pour les 4 types de béton réalisé pour cet essai.

Type bêton	BT	BN5%	BN15%	BC5%	BC15%	BI5%	BI15%
Affaissement (cm)	6	5	7	6	4	9	8

TABLEAU 1.3 : résultats d'affaissement

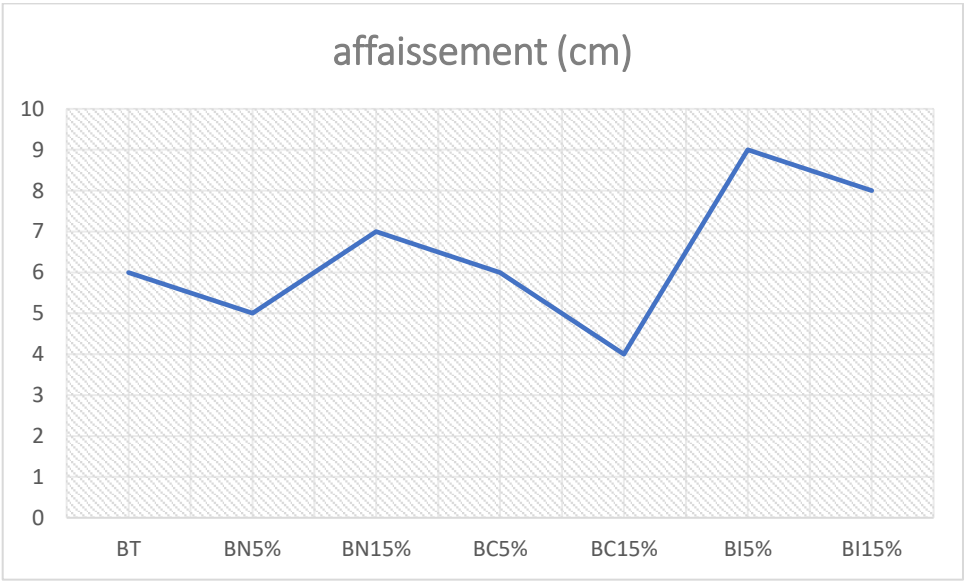


Figure 1.3 : résultats d'affaissement

Commentaire :

D'après le tableau 3.1 et la figure 3.1 on peut conclu que notre béton ordinaire est on domaine plastique mais la valeur augmente pour le béton malaxé avec boue d'incinération par ailleurs cette valeur diminue pour le bêton malaxé avec boue traitée et reste la même pour le béton malaxé avec boue naturelle mais on générale toutes les valeurs sont acceptables donc pas de risque de ségrégation.

3.2.2 le béton durci :

3.2.2.1 les Paramètres physique :

3.2.2.1.1 Absorption par immersion totale :

Le tableau 3.2 et la figure 3.2 représente les résultats d'absorption par immersion totale de 14 éprouvette cubique de dimension (10*10*10) cm avec 2 éprouvettes de même formulation pour chaque groupe pour obtenu des résultats plus fiables est acceptable.

Les essais sont réalisés à un béton d'Age de 28 jour.

Les groupes sont (BT, BN 5%, BN 15%, BI 5%, BI 15%, BC 5%, BC 15%).

Échantillon	Ech sec	20 MIN	40 MIN	60 MIN	80 MIN	100 MIN	120 MIN
BC 15%	2224	2255	2258	2258	2258	/	/
BI 15%	2323	2348	2350	2350	2352	2352	2352
BN 15%	2301	2325	2328	2331	2332	2332	2332
BN 15%	2325	2335	2340	2344	2350	2353	2353
BC 15%	2384	2410	2413	2416	2416	2416	/
BI 15%	2356	2363	2377	2380	2385	2387	2387
BN 5%	2317	2333	2345	2348	2350	2353	2353
BI 5 %	2409	2413	2420	2437	2440	2440	2440
BN 5%	2352	2364	2369	2377	2385	2387	2387
BT 2	2412	2427	2432	2440	2441	2441	2441
BC 5%	2360	2364	2367	2371	2380	2389	2389
BC 5%	2217	2226	2234	2247	2252	2252	2252
BT 1	2461	2466	2471	2485	2490	2490	2490
BI 5%	2424	2429	2433	2450	2454	2454	2454

Tableau 2.3 : résultats de masse après immersion totale

Les résultats de d'absorption Aw sont la moyenne entre les deux valeurs de chaque groupe.

Type béton	BT	BC 5%	BC 15%	BN 5%	BN 15%	BI 5%	BI 15%
	1.19	1.4	1.43	1.52	1.28	1.26	1.33

TABLEAU 3.3 : pourcentage d'absorption par immersion totale

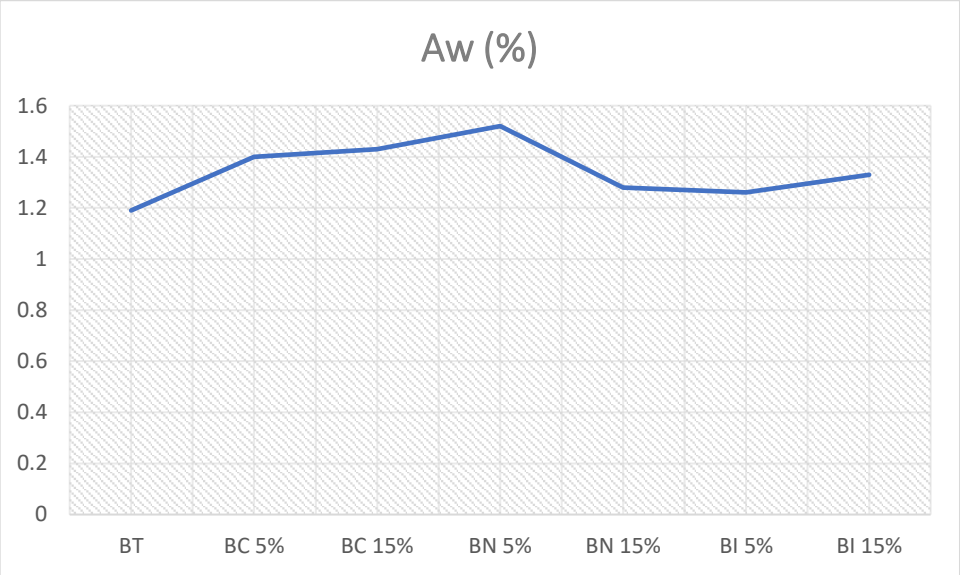


FIGURE 2.3 : pourcentage d'absorption par immersion totale

Commentaire :

D'après le tableau 3.2, tableau 3.3 et la figure 3.4 on peut conclu que les masse après absorption totale de l'eau a augmenté de 1.19 % pour le béton ordinaire mais cette valeur est n'est pas le même pour les autres types de béton traité puisque on peut noter une augmentation dans la masse de béton malaxé avec une boue naturelle qui est supérieur à 1.5 % donc on peut noter que la boue a augmenté la capaciter d'absorption d'eau dans notre béton.

3.2.2.1.2 Absorption par capillarité :

Ech	Ech Sec	1 MIN	4 MIN	9 MIN	16 MIN	25 MIN	36 MIN	49 MIN	64 MIN	2 H	4 H	8 H	24 H	48 H
BC15%	2203	2207	2209	2210	2211	2211	2212	2213	2213	2214	2216	2219	2224	2228
BI 15%	2326	2329	2332	2333	2333	2333	2334	2336	2336	2336	2338	2341	2346	2350
BN15%	2291	2297	2297	2298	2299	2299	2299	2300	2301	2302	2304	2307	2307	2309
BN15%	2326	2331	2332	2332	2332	2332	2332	2333	2333	2334	2335	2337	2340	2341
BC15%	2374	2378	2379	2379	2380	2380	2380	2382	2382	2382	2384	2386	2389	2392
BI 15%	2339	2343	2345	2345	2346	2347	2347	2347	2348	2349	2352	2355	2360	2363
BN5%	2309	2313	2315	2315	2316	2317	2319	2319	2321	2321	2321	2325	2328	2332
BI 5%	2408	2412	2413	2413	2415	2415	2415	2416	2416	2417	2419	2422	2426	2428
BN 5%	2355	2358	2358	2358	2359	2360	2360	2360	2360	2361	2362	2363	2366	2368
BT 1	2456	2458	2458	2459	2459	2459	2460	2460	2460	2460	2461	2463	2465	2466
BC 5%	2358	2360	2361	2362	2362	2362	2363	2363	2363	2364	2365	2367	2371	2373
BC 5%	2202	2204	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2216	2218	2219	2220
BT 2	2394	2399	2402	2403	2404	2405	2407	2408	2413	2415	2416	2416	2417	2421
BI 5%	2424	2427	2429	2429	2429	2430	2431	2431	2431	2432	2434	2436	2441	2444

TABLEAU 4.3 : valeur des masses après absorption par capillarité

Les résultats de d'absorption par capillarité CA sont la moyenne entre les deux valeurs de chaque groupe.

Ech	Ech Sec	1 MIN	4 MIN	9 MIN	16 MIN	25 MIN	36 MIN	49 MIN	64 MIN	2 H	4 H	8 H	24 H	48 H
BT	0	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.09	0.1
BC 5%	0	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.1
BC15%	0	0.04	0.06	0.07	0.08	0.9	0.9	0.1	0.1	0.11	0.13	0.16	0.21	0.25
BN 5%	0	0.04	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.14	0.19	0.23
BN15%	0	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.11	0.14	0.15
BI 5%	0	0.04	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.11	0.14	0.18	0.2
BI 15%	0	0.03	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.1	0.1	0.1	0.12	0.15	0.2	0.24

TABLEAU 5.3 : Valeur de L'absorption par capillarité CA

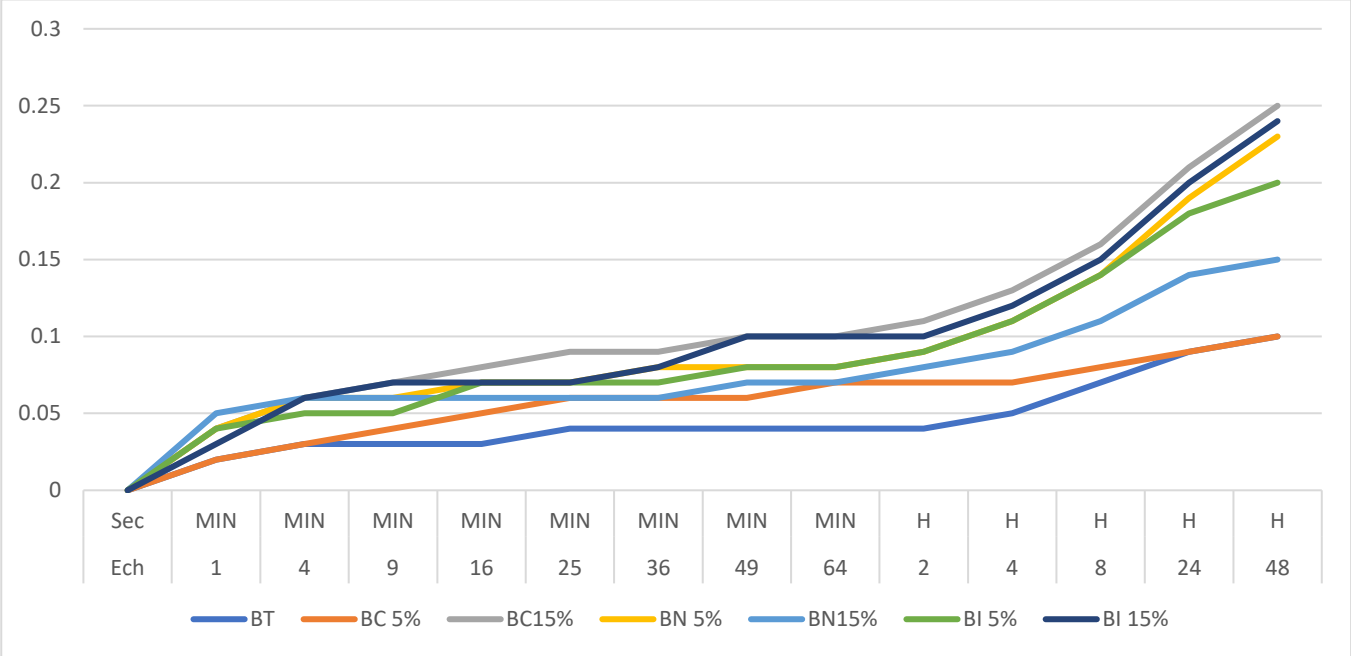


FIGURE 3.3 : Les Valeurs de L'absorption par capillarité CA

Commentaire :

D'après les tableaux et la figure on peut conclu que la valeur d'absorption par capillarité est à sa valeur la plus basse pour le béton ordinaire et augmente de manière significative par rapport le temp pour le béton à base de boue donc on peut noter que la boue est un matériau très absorbant de l'eau.

3.2.2.1.3 l'essai gel dégel :

A- l'apparence extérieur avant et après :

Les éprouvettes de gel dégel après 100 cycles continue est modifiée on apparence entre avant et après comme la figure représente :



Figure 4.3 : béton avant gel dégel



Figure5.3 : béton après gel dégel

Commentaire :

D'après les figures on pout noter que 100 cycles de gel dégel est suffisante de détruit notre éprouvette presque complètement dans le cas ou notre béton est malaxé avec boue mais a des dégrée divers où les éprouvettes avec boue naturelle et boue de chaux sont les plus vulnérables comme il est clair dans les pores et les fissures nocif présenté dans les figures mais les éprouvettes avec boue d'incinération est presque la même apparence que les éprouvettes ordinaires.

B- la masse avant et après :

Les masse des éprouvettes avant les 100 cycles de gel dégel et après sont présenté dans le tableau et la figure :

Les éprouvettes	BC 15%	BI 15%	BN 15%	BI 5%	BN 5%	BC 5%	BT
Masse avant	2337	2465	2487	2450	2369	2420	2446
Masse après	2303	2453	2421	2446	2359	2406	2440
Pourcentage de perte	1.45 %	0.49 %	2.65 %	0.16 %	0.42 %	0.57 %	0.24 %

TABLEAU 6.3 : perte de masse a la fin de gel dégel

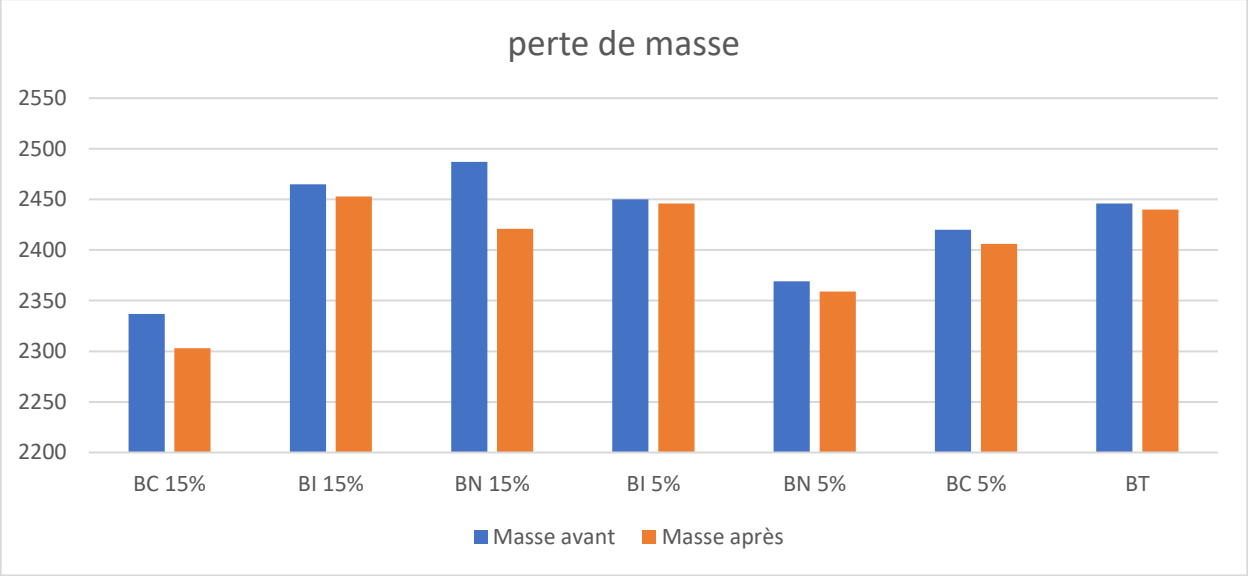


Figure 6.3 : perte de masse après gel dégel

Commentaire :

Comme la figure et le tableau pout montre que la perte de masse après 100 cycles de gel dégel et presque négligeable puisqu'il n'a pas dépassé 3 % dans le cas plus nocif qu'il est le béton avec boue naturelle par ailleurs on peut noter aussi que la boue incinérer donne presque les mêmes résultats que le béton ordinaire et plus mieux que les autres types de boue.

3.2.2.2 les paramètres mécaniques :

3.2.2.2.1 La résistance à la compression :



Figure 7.3 : essai de compression



Figure 8.3 : éprouvettes après compression

Dans le cas de la résistance a la compression on a devisé le travail en deux parties :

Première partie ou les éprouvettes sont comprimer a l'Age de 28j avec deux précision pour des meilleur et fiable résultats totalement 14 éprouvettes et 2 pour chaque formulation.

Deuxième partie ou les éprouvettes passe par 100 cycles de gel dégel et se deuxième partie est réserver pour la détermination de la perte de résistance de ces éprouvettes par rapport les éprouvettes qu'ils sont comprimés directement ou on a 7 éprouvettes que passer par le gel dégel.

Les tableaux et les figure représente les résultats de force appliquer en kn :

Éprouvettes	BT	BI 5%	BI 15%	BN 5%	BN 15%	BC 5%	BC 15%
1er précision	305	304	310	251	194	146	301
2eme précision	320	257	330	340	260	132	132
Avec gel dégel	145	231	248	105	43	121	250

TABLEAU 7.3 : Les résultats d'essai compression

La moyenne entre les deux précisions est montrée dans le tableau et la résistance est calculée considérant notre éprouvette est un cube de 100 de surface.

Eprouvette	BT	BI 5%	BI 15%	BN 5%	BN 15%	BC 5%	BC 15%
Resistance finale (MPA)	31.2	28.0	32.0	29.5	22.7	13.9	21.6
Avec gel dégel (MPA)	14.5	23.1	24.8	10.5	4.3	12.1	25

Tableau 8.3 : la résistance a la compression

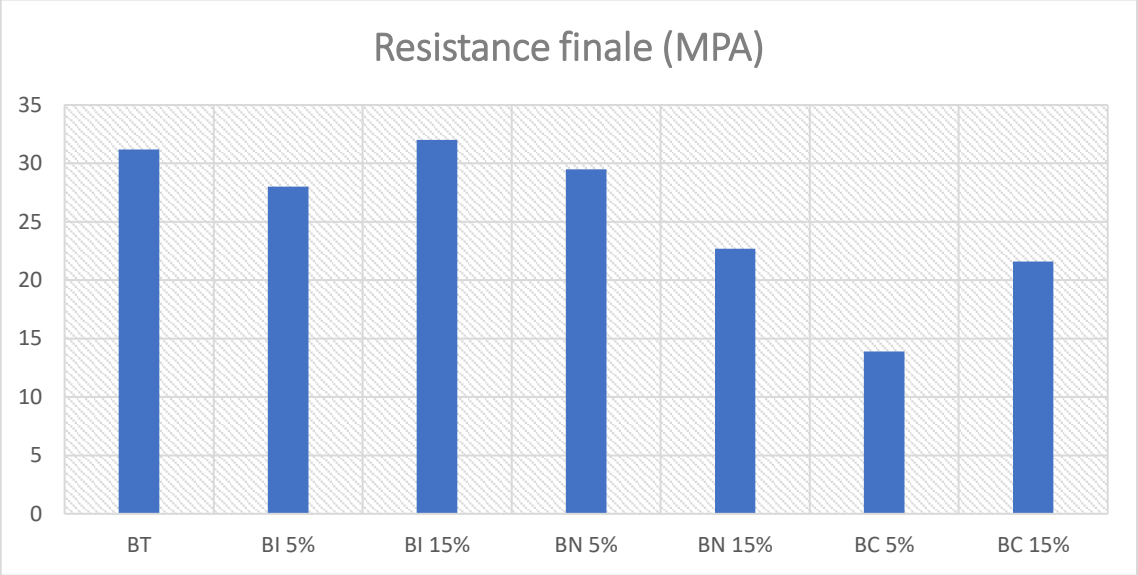


FIGURE 9.3 : la résistance a la compression

Commentaire :

D'après la figure on peut noter que la résistance à la compression est à sa meilleur valeur pour le béton malaxé avec boue incinérée mais il n'a pas dépassé la valeur de celle de béton ordinaire par une grande marge donc il n'est pas considéré comme une valeur fiable pour la comparaison mais par rapport les autres types de béton on peut le considère comme un progrès puisque tous les autres résultats sont très mal et non fiable surtout le béton avec boue de chaux.



Figure 10.3 : des éprouvettes après l'essai

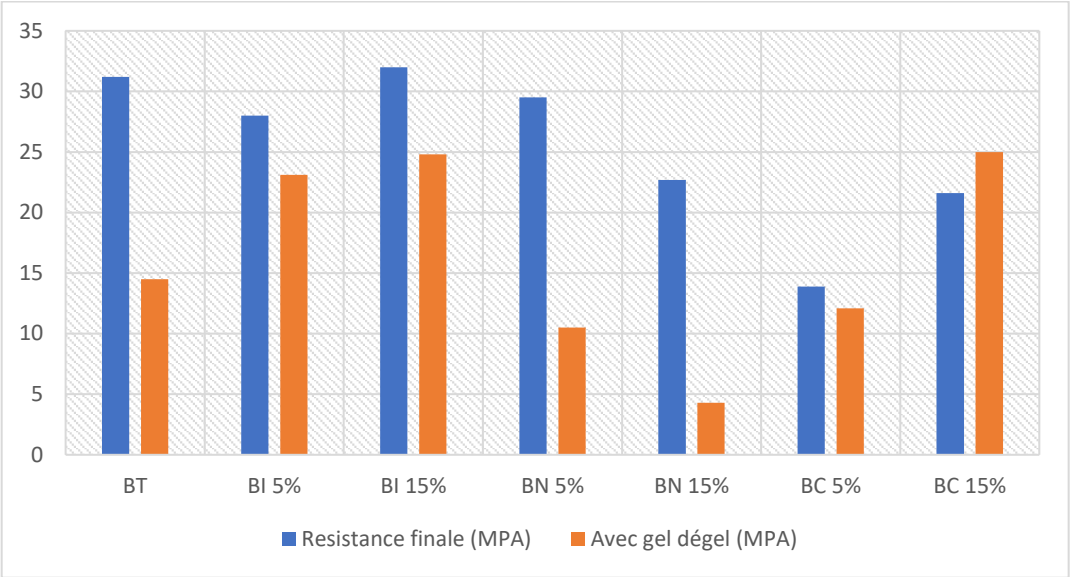


Figure 11.3 : comparaison entre éprouvettes sans gel dégel et éprouvettes avec gel dégel

Commentaire :

D'après la figure on peut remarquer que la résistance à la compression est diminué de manière significative pour les éprouvettes qui passe par 100 cycles de gel dégel et on peut noter que l'ajout de boue dans la formulation n'a fait aucun positive effet pour améliore cet paramètre par ailleurs la boue donne des résultats acceptable pour les éprouvettes sans gel dégel.

Le tableau présente la perte en résistance entre les éprouvettes sans gel dégel et les éprouvettes avec gel dégel

Éprouvettes	BT	BI 5%	BI 15%	BN 5%	BN 15%	BC 5%	BC 15%
Le perte %	53.96	17.5	22.5	64.4	81.05	12.94	13.6

TABLEAU 9.3 : Le perte de résistance

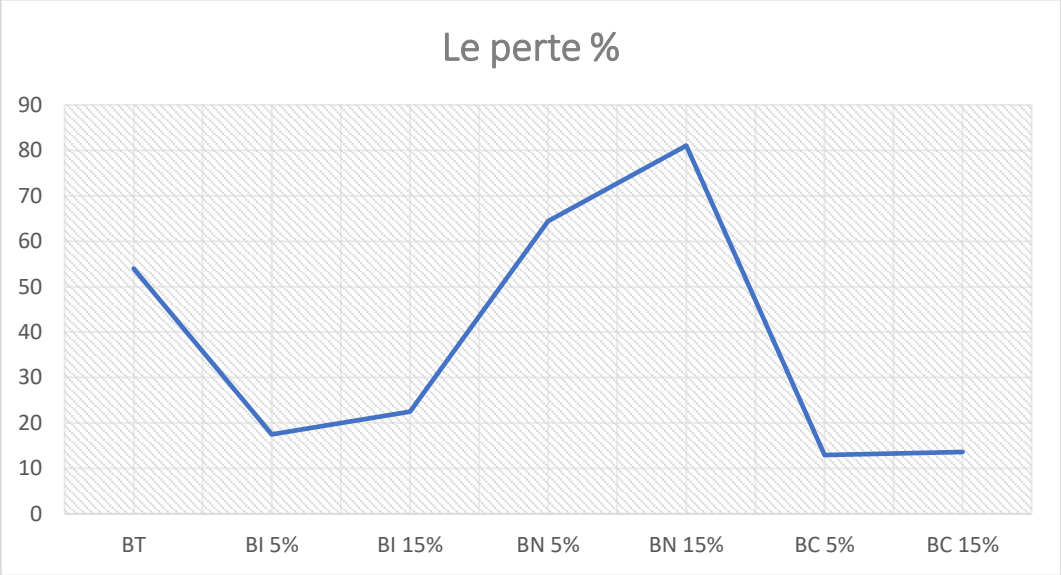


FIGURE 12.3 : Le perte de résistance

Commentaire :

D'après la figure on peut noter que la boue naturelle est la plus fragile contre les cycles de gel dégel puisque la perte est à son plus haut niveau pour cette formulation qui dépasse 80% de perte par rapport la résistance avant le gel dégel par ailleurs la perte de boue incinérée et la boue de chaux est le plus moins de valeur ce qui indique que tous les deux sont bien fiable pour ce paramètre.

3.2.2.2.2 la résistance à la flexion :



Figure 13.3 : Essai de flexion



Figure 14.3 : éprouvette après l'essai

Les résultats de l'essai résistance à la flexion est évoluée à un béton d'Age de 7j et 28j pour de meilleure précision sont présenter dans le tableau et la figure :

Les éprouvettes	BC 15%		BI 15%		BN 15%		BI 5%		BN 5%		BC 5%		BT	
		F(kn)		F(kn)		F(kn)		F(kn)		F(kn)		F(kn		F(kn)
7j	0.85	7.35	1.9	15.83	1.3	11.98	1.33	12.06	1.36	12.06	1.36	12.2	1.84	16.3
28j	1.35	12.04	2.39	21.39	1.77	15.79	1.96	16.03	1.85	16.53	1.82	16.2	1.55	14.2

Tableau 10.3 : Les résultats de l'essai de flexion

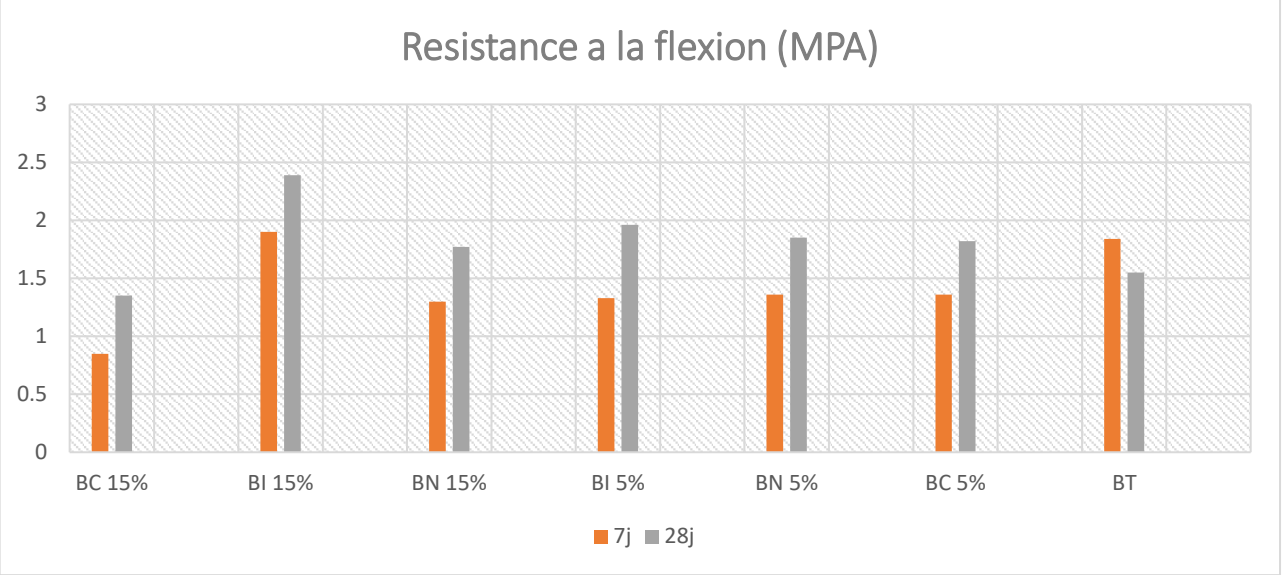


Figure 15.3 : Les résultats de l'essai de flexion

Commentaire :

D'après le tableau et la figure on peut noter que la résistance à la flexion est à sa meilleur valeur pour le béton malaxé avec boue incinérée pour les deux cas à 7j et a 28j par ailleurs les éprouvettes avec boue naturelle a 28j donne presque les mêmes résultats que le béton ordinaire à la même Age et comme tous les essais présidant la boue de chaux est n'est pas donnée des bien résultats pour la 15% pourcentage mais il est mieux au 5% pourcentage.

3.2.2.2.3 la résistance à la traction :

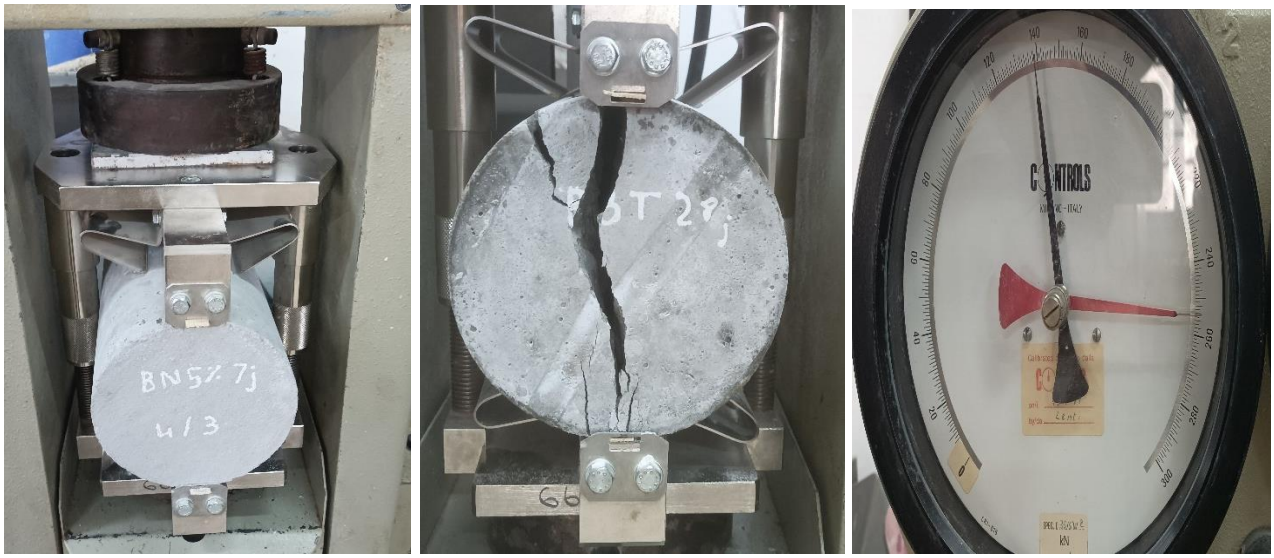


Figure 16.3 : Les étapes de l'essai traction par fendage

Les résultats de l'essai résistance à la traction par fendage est évolué à un béton d'Age de 7j et 28j pour de meilleure précision sont présenté dans le tableau et la figure :

Les éprouvettes	BC 15%		BI 15%		BN 15%		BI 5%		BN 5%		BC 5%		BT	
		F(kn)		F(kn)		F(kn)		F(kn)		F(kn)		F(kn		F(kn)
7j	1.97	159	2.28	184	2.06	166	1.72	139	1.49	120	1.69	136	2.41	194
28j	2.18	176	2.08	168	1.51	122	1.96	158	1.76	142	2.15	173	3.14	253

TABLEAU 11.3 : Les résultats de l'essai traction par fendage

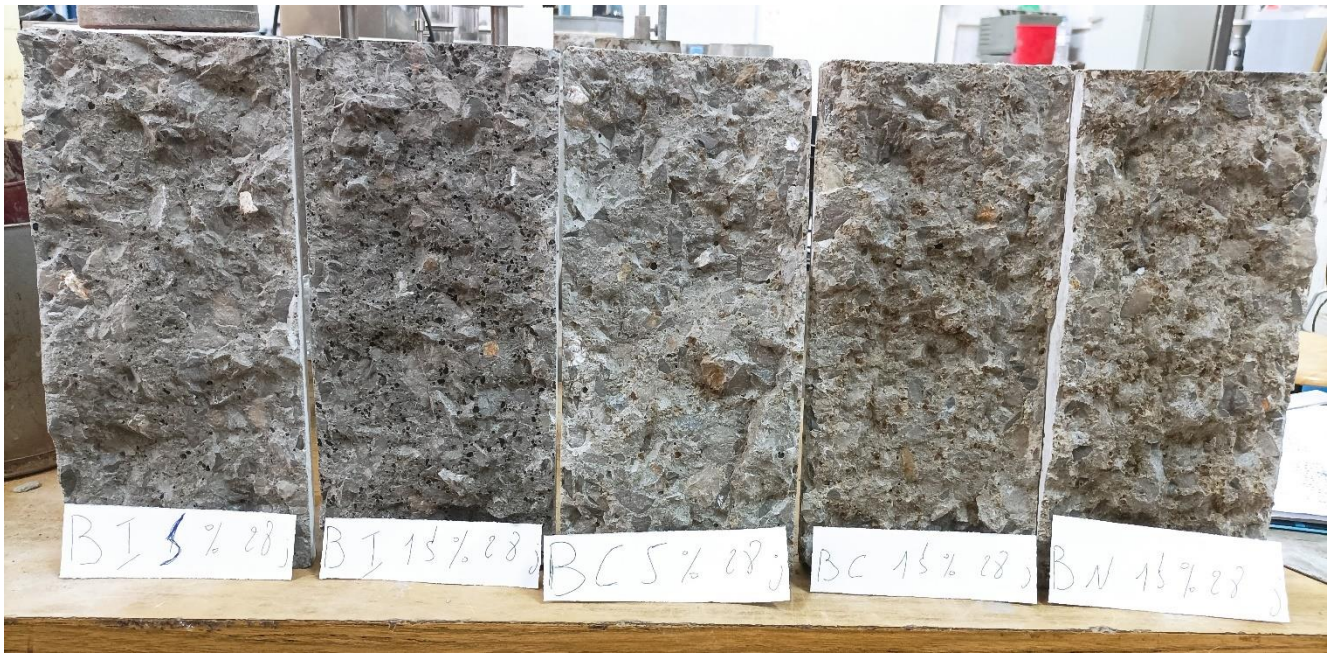


Figure 17.3 : La matrice des éprouvettes cylindrique à 28j

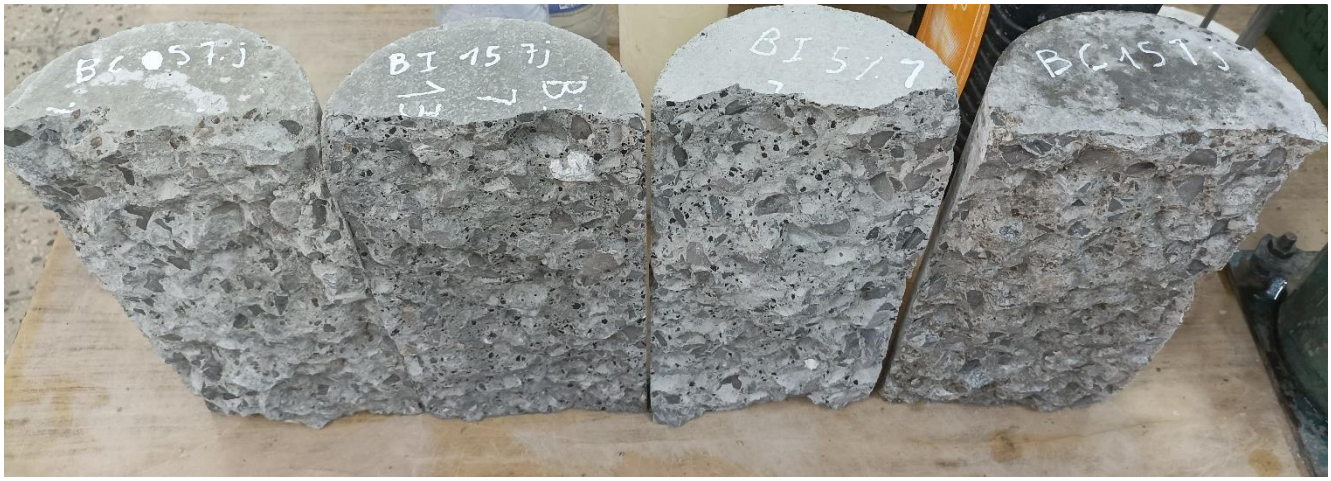


Figure 18.3 : La matrice des éprouvettes cylindrique à 7j

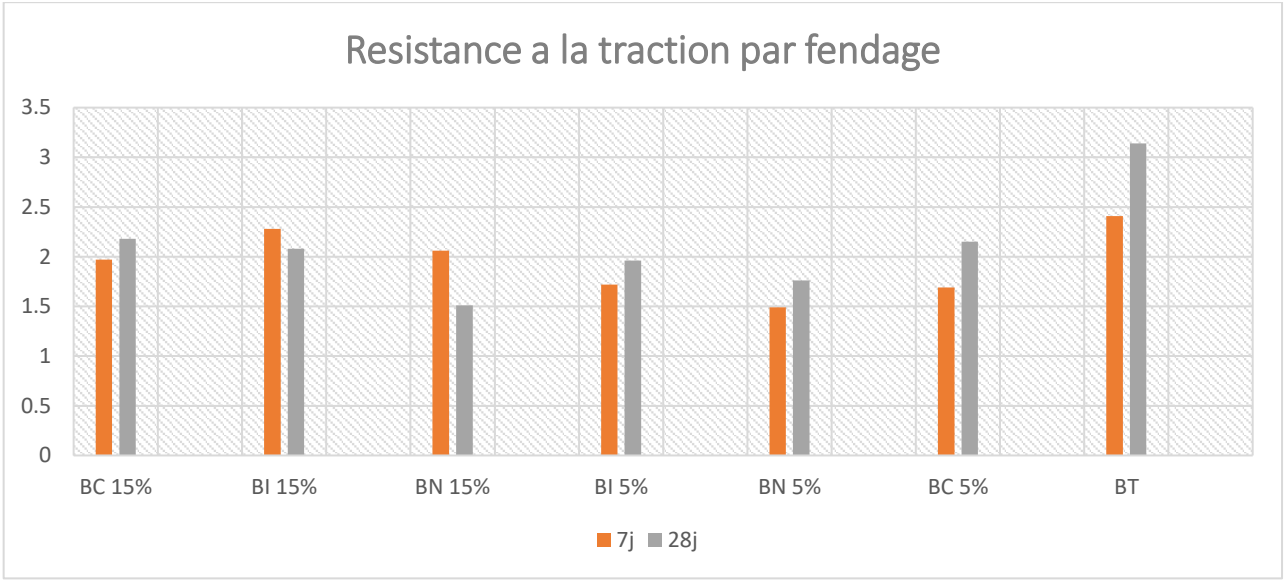


Figure 19.3 : Les resultats de l'esaai de traction par fendage

Commentaire :

D'après le tableau et la figure on peut noter que le béton ordinaire est donne la meilleure résultats pour la résistance à la traction puisqu'il dépasse toutes les autres formulations par une grande marge donc les traitements de boue ne peut pas améliore aucun paramètre pour la traction considérant les deux Age mais on peut noter aussi que la boue incinérée reste le meilleur choix entre les trois traitement puisque a l'Age de 7j les éprouvettes de boue incinérer ont la même valeur de résistance.

3.3 Conclusion :

A la fin de ce chapitre on peut noter ce que suit :

- La boue naturelle réduit la résistance au gel-dégel par rapport aux autres types de traitements.
- Elle présente également une faible résistance à la traction après 28 jours de cure, et peut être remplac e par d'autres types de boues offrant de meilleures performances m caniques.

- La boue naturelle se caractérise par une capacité d'absorption d'eau élevée, supérieure à celle des autres types de boues étudiés.

- Elle présente une résistance à la compression jugée relativement acceptable dans le cadre des performances mécaniques.

- L'incorporation de chaux dans la boue engendre une amélioration marquée de sa résistance à la traction, qui se classe juste après celle du béton ordinaire aux deux âges de référence (7j et 28j).

- la boue traitée à la chaux montre une faible résistance à la flexion, limitant son utilisation dans des applications structurelles nécessitant une bonne tenue en flexion.

- les formulations contenant 5 % de chaux présentent des performances inférieures à celles à 15 %, indiquant une dépendance marquée à la teneur en liant pour l'optimisation des propriétés mécaniques.

- bien que la boue soit traitée à la chaux, sa résistance à la compression demeure inférieure aux seuils requis pour des performances mécaniques optimales

- la capacité d'absorption d'eau de la boue traitée à la chaux est modérée, se situant entre celle de la boue naturelle et celle d'autres formulations améliorées.

- L'incorporation de boue incinérée améliore significativement la résistance à la flexion par rapport au béton ordinaire, et ce, pour les taux de substitution de 5 % et 15 %, ainsi que pour les deux âges d'essai considérés.

- La boue incinérée présente une résistance à la traction comparable à celle de la boue traitée à la chaux, les deux matériaux produisant des résultats quasi identiques.

- La boue incinérée fournit également les meilleures performances en résistance au gel-dégel, surpassant le béton ordinaire pour les formulations à 5 % et 15 %.

• En ce qui concerne la résistance à la compression, la boue incinérée se révèle la plus performante, avec une marge légèrement inférieure à celle du béton ordinaire.

• l'absorption d'eau du béton contenant de la boue incinérée figure parmi les plus faibles, juste après celle du béton ordinaire.

Chapitre 4 :

Conclusion Générale

Et Perspective

Conclusion générale :

Le début de ce travail vise à étudier la faisabilité du recyclage des déchets issus des stations d'épuration, en particulier les boues, en les incorporant dans la formulation du béton. Pour cela, une partie du sable est remplacée par ces boues à hauteur de 5 % et 15 % du sable total. L'objectif est d'évaluer la possibilité de réutiliser ces déchets dans divers projets de construction. Toutefois, ce travail a rencontré un certain nombre de difficultés, qu'il peut être expliquer avec les résultats suivants :

- En ce qui concerne les boues issues des stations d'épuration, il est possible de réduire leur volume par des méthodes simples telles que le séchage à l'air libre ou l'incinération

- L'utilisation de boues naturelles après un séchage à l'air libre n'entraîne aucune amélioration significative des propriétés du béton.
- L'utilisation de boues traitées à la chaux dans le béton donne des résultats peu concluants, pouvant même entraîner une diminution de sa résistance à la compression par rapport au béton ordinaire.
- L'incinération des boues est le seul traitement ayant permis d'obtenir des performances comparables à celles du béton ordinaire, tant sur le plan physique que mécanique.
- Les autres traitements présentent certains avantages spécifiques, tels qu'une bonne résistance à la traction pour les boues traitées à la chaux et des résultats acceptables en résistance à la compression pour les boues naturelles. Cependant, le béton ordinaire demeure la référence en termes de performance globale.
- De point de vue résistance seulement je peux conseiller de la boue incinère pour les grands projets de construction.

D'après cette étude, il peut être conclu que l'utilisation de boues incinérées dans la formulation du béton est fiable et réalisable, puisqu'elle permet d'obtenir des performances similaires, voire supérieures, à celles du béton ordinaire.

Perspectives :

Pour l’avenir de cette étude il est important de :

-Traitée la boue avec différente type de traitement comme la chaux vive.

-Des essais doivent être faite avec béton armée.

-Etudier la possibilité de remplace la boue par gravier 3/8.

Références bibliographiques

Reference

[1] CHIBANI sana En 2010 L'UNIVERSITE DE 08 Mai 1945 de GUELMA. « Analyses physico-chimique et rhéologique des boues d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma ».

[2] Guerfi Zouleikha EN 2012 L'Université Badji-Mokhtar. « IMPACT DE l'utilisation des boues résiduaire sur les propriétés physico-chimique des sols de la haute vallée de la Medjerda wilaya de souk ahres »

[3] HARIR Israà et NEDDER Nour Djihane EN 2020 Université cheikh Larbi tebessi Tébessa. « Valorisation des boues de la station d'épuration de Bathioua Oran »

[4] Maozhe Chen L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon présente EN 2012. « Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation dans des matériaux de construction cimentaires de cendres d'incinération de boues de station d'épuration »

[5] AADRAOUI Mohamed ANNEE 2020 L'UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE Morocco Université cheikh Larbi tebessi Tébessa. « Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation des boues de station d'épuration dans les matériaux de construction »

[6] SERIDI Ines EN 2024 l'Université de 8 Mai 1945 Guelma. « La valorisation de la boue des stations d'épuration dans le domaine de génie civil »

[7] Amari Wafa ET Berkati Lamis en 2024 Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj. « L'incorporation des boues d'epuration et du CaCl2 dans la production de matériaux de constructions durable »

[8] Madoui Khouloud en 2023 Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj. « Contribution a la stabilisation et la valorisation des boues de station d'epuration par Co-compactage »

[9] SELMANI Khalil en 2023 Université Chahid CheikhLarbi Tébessi. « Utilisation de la méthodologie des plans d'expérience pour la formulation de béton à base des déchets »

[10] Nadjoua BOURMATTE. Hacène HOUARI en 2013 Sciences & Technologie Université Mentouri Constantine Route Ain El-Bey Constantine Algérie. « CARACTERISATION EXPERIMENTALE DES BETONS ET MORTIERS A BASE DE GRANULATS RECYCLES : BETON DEDEMOLITION ET DECHETS DE BRIQUES »

[11] BECHIR OUSSAMA en 2019 à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma « ETUDE DE LA DURABILITE D'UN BETON A BASE DU GRANULAT RECYCLE »

[12] norme de Masse volumique apparente [NF P18-554]

[13] DALI YOUCEF SOUHILA Mémoire de Master UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID – TLEMCE, 2017. « DÉMARCHE QUALITÉ DANS LA FORMULATION DES BÉTONS PAR LA MÉTHODE TAGUCHI »

[14] FICHE DE QUALITÉ ISO 50001 :2018 certifiés selon la Norme Algérienne 442/2013 par l'Institut Algérien de Normalisation -IANOR-.

[15] Méthode **de la méthode de dosage par volume.** « Compositions des bétons hydrauliques » Annales de l'"ITBTP (58), Série 3 Béton et béton armé. Cité dans (Franck, 2007).

[16] la norme NF P 18-303 selon de l'eau de gâchage [20] Domone P.L.J. and Jin J. "Properties of mortar for Self-Compacting Concrete Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, RILEM Proceedings PRO 7, 1999, Paris, pp. 109-120.

[17] ALEXANDRE J. et SEBILEAU J Centre Technique et de Promotion des Laitiers. « Laitier de haut fourneau »

[18] DREUX G. FESTA J Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants [Rapport].

[19] la norme d’Absorption totale par immersion totale [NBN B 15-215]

[20] la norme d’Absorption d’eau par capillarité [NF EN 480-5]

[21] la norme de L'essai gel-dégel : [NF P18-424] [25]