

**AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE, REDUCTION DES COUTS  
D'OPERATION ET LE CONTROLE DE LA QUALITE DES BETONS CAS DE  
L'EXTENSION DE LA MINE ESSAKANE, IAMGOLD CORPORATION**

**Mémoire pour l'obtention du  
MASTER EN INGENIERIE CIVIL  
OPTION : ROUTES ET OUVRAGES D'ART**

---

Présenté et soutenu publiquement le 24 Juin 2013 par

**Balikou PAKAMEY**

**Travaux dirigés par : Ismaïla GUEYE**

Dr Enseignant Chercheur

CENTRE COMMUN DE RECHERCHE

ENERGIE HABITAT DURABLE ----

Jury d'évaluation du stage :

Président : Ismaïla GUEYE

Membres et correcteurs : Abdoul LAWANE  
S. SOUISSI  
Souleymane BARRO

**Promotion [2012/2013]**

*DÉDICACES*

*A l'Eternel le Tout-puissant et miséricordieux.*

*A mes parents Victor et Amah,*

*Merci pour l'amour et le soutien indéfectible montrés*

*à mon égard.*

## **REMERCIEMENTS**

Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma profonde et sincère gratitude à l'endroit de tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce document.

Parmi eux je veux citer:

- ❖ M. Sylvain COLLARD, Directeur du département d'optimisation d'IAMGOLD Essakane S.A, pour m'avoir accepté en tant que stagiaire dans son département ;
- ❖ M. Martin ARSENAULT Chef de service l'ingénierie du département de l'optimisation pour sa disponibilité et l'attention qu'il m'accordé tout au long de mon stage en tant qu'encadreur ;
- ❖ Dr. Ismaïla GUEYE, Enseignant-Chercheur au 2iE et responsable pédagogique, pour avoir accepté d'assurer la direction de ce mémoire ;
- ❖ M. Jacques Ismaïla LOUGUE contrôleur qualité béton IAMGOLD Essakane pour son aide précieuse et sa contribution à l'aboutissement de ce travail.

A tous les membres de l'équipe d'ingénierie de l'optimisation pour leur diverse contribution entre autre :

- ❖ Richard FORTIN chef de service d'ingénierie ;
- ❖ Rodrigue ZAONGO contrôleur qualité béton et
- ❖ Mahuna Romuald AZANDEGBE Ingénieur Génie Civil.

Ma reconnaissance s'exprime également à :

- ❖ ma famille, oui, elle qui a toujours cru en moi, qui m'encouragé et m'a épaulé durant mon parcours ;
- ❖ Dr ADAMAH Messan Enseignant-Chercheur au Laboratoire Eco Matériau de Construction 2iE ;
- ❖ KOKOLE Koffi Agbévidé Enseignant Chef Travaux au Laboratoire Eco Matériau de Construction 2iE ;
- ❖ tous mes camarades promotionnaires de Master 2 GC de 2iE et
- ❖ tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

## ***AVANT PROPOS***

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (**2iE**), anciennement Groupe des écoles EIER-ETSHER (Ecole Inter-états d'Ingénieurs de l'Équipement Rural et Ecole des Techniciens Supérieurs en Hydraulique et Équipement Rural), est situé à Ouagadougou au Burkina-Faso.

C'est une école qui ambitionne être une institution d'excellence dans la formation des étudiants en Afrique. Pour y arriver elle s'est inscrite dans la démarche qualité avec la certification **ISO 9001** version **2008** pour la conception et la réalisation des offres de formation. Le 2iE est membre de la Conférence française des Grandes Ecoles (**CGE**) et du Consortium pour la collaboration de l'enseignement supérieur en Amérique du Nord (**CONAHEC**). Les diplômes d'ingénieurs de 2iE sont accrédités en Europe (label **EUR-ACE**) et par la Commission française des Titres d'Ingénieur (**CTI**).

Elle est dotée pour son fonctionnement d'un directeur général. Les étudiants sont issus de plus de 27 nationalités.

Le 2iE forme des ingénieurs-entrepreneurs spécialisés dans les domaines :

- ❖ Eau et assainissement
- ❖ Environnement
- ❖ Énergie et électricité
- ❖ Génie civil et Mines
- ❖ Sciences Managériales

Les dernières réformes ont abouti à la création de deux centres communs de recherche qui sont :

- ❖ Le Centre Commun de Recherche Eau et Climat (**CCREC**) a pour objectif la sécurisation de l'accès à l'eau potable pour tous.
- ❖ Le Centre Commun de Recherche Énergie et Habitat Durable (**CCR-EHD**) étudie l'accès durable à l'énergie pour tous en Afrique. Il vise par ses travaux scientifiques à contribuer au développement sur le continent des capacités d'innovation industrielle dans les domaines des énergies renouvelables et de la construction. La filière Génie civil où suis-je inscrit, a pour mission de former des ingénieurs en leur donnant une solide formation scientifique et technique, dans les domaines de : routes et ouvrages d'art, les bâtiments et les transports.

## **RÉSUMÉ**

Le suivi de la production du béton fabriqué sur chantier passe par la maîtrise des caractéristiques intrinsèques des matériaux entrant dans sa composition et par la réalisation d'un certain nombre d'essais sur le béton frais et durci à savoir les essais d'affaissement, d'écrasement d'éprouvettes conservés parfois dans des conditions différentes de celles de l'ouvrage.

Ce travail vise à contribuer à l'amélioration continue de la fabrication du béton sur le site d'Essakane à travers le suivi de la qualité du béton et la maîtrise du coût de fabrication.

Dans un premier temps, une caractérisation des matériaux de fabrication de béton a été réalisée, ce qui a conduit à une vérification de la formule en cours d'utilisation. Les résultats de cette étude montrent que le sable utilisé a un ESP de 29.5% et un Mdf de 1.83.

Ensuite une analyse des données de fabrications basée sur le dépouillement des fiches d'écrasement de béton a été aussi réalisée. Les résultats de cette analyse se traduisent par des résistances moyennes à la compression de 33MPa à 28 jours. Cette résistance est un peu élevée par rapport à celle visée qui est de 30 MPA Toutefois d'autres vérifications supplémentaires doivent être réalisées afin de confirmer les valeurs des résistances à la compression obtenu à 28 jours.

Enfin, l'étude du coût de fabrication montre que, dans ce projet, les matériaux et la main d'œuvre représentent plus de 90% du coût total des opérations de bétonnages.

### **Mots Clés :**

---

- 1- affaissement
- 2- compression
- 3- étude statistique
- 4- granulats concassés
- 5- résistance à la compression

### ***ABSTRACT***

Monitoring of the production of concrete produced on site involves mastering of the intrinsic characteristics of materials included in its composition and the realization of a number of tests at on fresh and hardened concrete namely the subsidence testing, of crushing test specimen sometimes preserved in different conditions from the book.

This work aims to contribute to continuous improvement of the production of concrete on the Essakane site via the monitoring of the quality of concrete and control of the manufacturing cost.

At first, a characterization of materials for manufacturing concrete was made which led to a verification of the formula in use. The results of this study show that the sand used has an ESP of 29.5% and an MDF 1.83

Subsequently an analysis of manufacturing based on the counting of crushing concrete forms was also performed. The results of this analysis translate the average compressive strength of 33MPa at 28 days. This resistance is low compared to that referred is 30 MPA However, other additional checks must be carried out in order to confirm the values of compressive strength obtained at 28 days.

Finally, the study of the cost of manufacturing shows that in this project, materials and manpower account for over 90% of the total cost of concreting operations.

#### **Key words:**

---

- 1- subsidence
- 2- compressive
- 3- Statistical study
- 4- crushed aggregates
- 5- compression resistance

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

- 2iE : Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'Environnement
- IAMGOLD Essakane S.A : International African Mining Gold Corporation (mine d'or Essakane Société Anonyme)
- Aff: affaissement
- BA : Béton Armé
- BCPE : Béton à Composition Prescrite sur Etude-client
- BCPN : Béton à Composition Prescrite dans la Norme
- BFC: Béton Fabriqué sur Chantier
- BPE : Béton Prêt à l'Emploi
- BPS : Béton à Propriété Spécifique
- CM I 32.5. : Équivalent du Ciment Portland Artificiel 45 (CPA 45)
- $D_{max}$  : Dimension granulats maximal
- E/C: rapport eau sur ciment
- ESV : équivalent de sable à vue
- ESP : équivalent de sable au piston
- $f_{c28}$  : résistance caractéristique à la compression à 28 jours
- $G'$  : coefficient granulaire
- LA : coefficient de Los Angeles
- LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
- LNBTB : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
- Mdf : Module de finesse
- XOF: devise monétaire en CFA
- \$ : devise monétaire Dollar US

# TABLE DES MATIÈRES

<b>DÉDICACES</b> .....	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>ii</b>
<b>AVANT PROPOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>vi</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>xi</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I: PRÉSENTATION DU PROJET ET DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL</b> ... 3	
<b>I.1 Présentation de la structure d'accueil</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 Présentation du projet</b> .....	<b>3</b>
<b>CHAPITRE II : FABRICATION DU BÉTON</b> .....	<b>7</b>
<b>II.1 Définition du béton</b> .....	<b>7</b>
<b>II.2 Classification des bétons</b> .....	<b>7</b>
II.1.1 Désignation des bétons.....	7
II.1.2 La classe de consistence.....	8
II.1.3 Le dosage minimal en ciment.....	8
II.1.4 La dimension des granulats :.....	8
<b>II.3 Formulation du béton</b> .....	<b>9</b>
<b>II.4 Les essais sur béton</b> .....	<b>14</b>
II.4.1 Essai sur béton frais.....	14
II.4.2 Essai sur béton durci.....	15
<b>II.5 Moyens de contrôle de la régularité de qualité du béton</b> .....	<b>15</b>
<b>CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATÉRIEL DE FABRICATION</b> .....	<b>18</b>
<b>III.1 Matériel de fabrication et de contrôle</b> .....	<b>18</b>

III.1.1	Matériel de fabrication .....	18
III.1.2	Matériel de contrôle.....	19
<b>III.2</b>	<b>Plan d'assurance qualité.....</b>	<b>19</b>
<b>CHAPITRE IV: ANALYSE DE LA PRODUCTION DE LA CENTRALE À BÉTON DE IAMGOLD ESSAKANE .....</b>		<b>20</b>
<b>IV.1</b>	<b>Dosage des bétons.....</b>	<b>20</b>
<b>IV.2</b>	<b>Statistiques et analyse de la production. ....</b>	<b>20</b>
IV.2.1	Caractérisation des matériaux de fabrication du béton .....	21
IV.2.2	Ciment .....	21
IV.2.3	L'eau de gâchage.....	21
IV.2.4	Les granulats.....	21
IV.2.5	Récapitulatif des essais.....	22
IV.2.6	Analyse des résultats des essais.....	22
IV.2.7	Production mensuelle .....	23
IV.2.8	Fréquence de production par formule et par gâchées .....	24
IV.2.9	Résistance moyenne à la compressions cas des ouvrages de $f_{c28}=30\text{MPa}$ .....	26
IV.2.10	Relevées de production.....	28
<b>CHAPITRE V: VÉRIFICATION DE LA FORMULE DE BÉTON EN COURS D'UTILISATION.....</b>		<b>30</b>
<b>V.1</b>	<b>Données .....</b>	<b>30</b>
<b>V.2</b>	<b>Note de calcul.....</b>	<b>30</b>
V.2.1	Dosage en ciment .....	30
V.2.2	Dosage en eau .....	31
V.2.3	Détermination de la compacité du béton.....	31
V.2.4	Dosage en sable et granite concassé.....	31
<b>V.3</b>	<b>Comparaison entre le dosage encours d'utilisation et celui issu de la vérification .....</b>	<b>32</b>
<b>CHAPITRE VI: CHOIX DU POSTE DE BÉTONNAGE ET ÉTUDE DU COÛT D'OPÉRATION.....</b>		<b>33</b>
<b>VI.1</b>	<b>Choix du poste de bétonnage.....</b>	<b>33</b>
VI.1.1	Le Béton Prêt à l'Emploi (BPE) .....	34
VI.1.2	Le Béton Fabriqué sur Chantier (BFC) .....	34
<b>VI.2</b>	<b>Étude du coût des opérations de bétonnage d'IMAGOLD site d'Essakane.....</b>	<b>34</b>
VI.2.1	Hypothèses de calcul .....	35
VI.2.2	Évaluation des différents postes de dépenses .....	35

<b>VI.1 Synthèse des différents coûts.....</b>	<b>38</b>
<i>Conclusions .....</i>	<i>41</i>
<i>Recommandations et perspectives.....</i>	<i>43</i>
<i>Références bibliographiques.....</i>	<i>I</i>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>II</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Formules utilisées.....	20
Tableau 2: Récapitulatif des essais.....	22
Tableau 3 : Données de production (02-2012/09-2012) .....	23
Tableau 4 : Données de production (12-2012/04-2013) .....	23
Tableau 5 : Fréquence de production en fonction de la classe.....	24
Tableau 6 : Fréquence de fabrication par gâchée à la centrale à béton .....	25
Tableau 7 : Résultats essais d'écrasement sur cylindre 16X32 (radier) .....	26
Tableau 8 : Résultats essais d'écrasement sur cylindre 16X32 (voile).....	27
Tableau 9 : Extrait relevées de production de la centrale du 08/04/2013 au 10/04/2013 .....	28
Tableau 10 : Récapitulatif dosage pour 1m <sup>3</sup> de béton .....	31
Tableau 11: Formule en cours d'utilisation et celle obtenue après vérification.....	32
Tableau 12 : Hypothèses .....	35
Tableau 13: Récapitulatif prix du béton (partie mise en œuvre).....	36
Tableau 14: Récapitulatif prix du béton suite (partie fabrication à la centrale).....	37
Tableau 15 : Récapitulatif fabrication .....	38
Tableau 16 : Fabrication béton.....	38
Tableau 17: Récapitulatif coût global bétonnage par poste de dépense.....	39

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Plan de situation du projet .....	4
Figure 2 : Vue en 3D du tunnel du secteur 301 (l=6.90m ; L=90.60m ; H=8.90m ; 3500m <sup>3</sup> de béton).....	5
Figure 3 : Vue en 3D de l'usine de production à la fin de l'extension.....	6
Figure 4: Détermination de C par l'abaque de Dreux .....	10
Figure 5: Essai au cône d'Abrams .....	14
Figure 6: Essai d'écoulement au maniabilimètre LCPC.....	14
Figure 7: Essai d'étalement.....	15
Figure 8: Vue de la centrale à béton d'Essakane (à gauche) et du tableau de commande (à droite) .....	18
Figure 9: Aire de stockage matériaux et matériels de transport du béton (camions toupies)...	18
Figure 10 : Presse à béton .....	19
Figure 11 : cône d'Abrams.....	19
Figure 12 : Eprouvettes cylindriques 16X32.....	19
Figure 13: Variation de la production mensuelle .....	24
Figure 14: Fréquence de production par classe .....	25
Figure 15: Répartition par gâchée .....	25
Figure 16 : Répartition du coût de fabrication du béton et de sa mise œuvre .....	38
Figure 17 : Répartition du coût de production au m <sup>3</sup> à la centrale à béton.....	38
Figure 18: Répartition par catégorie.....	40

## INTRODUCTION

L'histoire du béton, comme celle de la construction, est riche en découvertes et rebondissements. Les Romains connaissaient déjà une forme de béton, mais son principe fut perdu jusqu'à sa redécouverte en 1756 par l'ingénieur britannique John Smeaton. Popularisé depuis le XIXe siècle, notamment grâce au ciment de Portland et à Louis Vicat en France (à Grenoble précisément), le béton est devenu le symbole de la construction contemporaine et le matériau de structure le plus utilisé au monde. Il est en effet apprécié pour ses grandes performances structurelles et sa résistance à la compression.

Par ses qualités techniques et sa souplesse de mise en œuvre, le béton est un élément incontournable de la vie moderne. Visible ou souvent caché, il est indispensable pour la construction d'ouvrages. Les qualités et les performances d'un béton ne peuvent être obtenues et garanties que si sa composition physico-chimique est très précise et sa production rigoureusement contrôlée.

Ainsi pour un chantier, on aura le choix entre deux méthodes de bétonnage ; soit le béton prêt à l'emploi livré par camions toupies externes au chantier ou le béton fabriqué sur chantier réalisé sur site par un engin de production (bétonnière ou centrale à béton), dans ce document seul le cas de la production par centrale sera traité.

La qualité de la fabrication du béton dans les centrales est contrôlée en grande partie par la précision des matériels de dosage et de contrôle (Durieux 1968). Cependant, le problème de régularité de la qualité du béton reste posé, que ce soit pour les bétons ordinaires ou pour les nouveaux bétons. Ainsi la problématique de l'amélioration continue au sein des unités de fabrication du béton constitue l'un des problèmes rencontrés lors des phases d'exécution des travaux ; entre autres : la gestion et le suivi des matériaux et matériels, la maintenance des équipements, le suivi et l'analyse des relevées de fabrications, l'analyse des résultats d'essais sur matériaux et le contrôle des coûts d'opération.

Estimée à près de 5.02 milliards de francs CFA soit 18 000 m<sup>3</sup> ; la quantité de béton, nécessaire pour la réalisation du projet d'extension de la mine Essakane (fondation massive pour les salles de machines, les voiles, les pilonnes des radiers et un tunnel), devra avoir une résistance moyenne à la compression à 28 jours de 30MPa, avec une fabrication sur site à l'aide d'une centrale à béton.

Des études de caractérisation des matériaux de fabrication du béton ont été réalisées avant le démarrage des travaux, ce qui avait abouti à une étude de formulation. Mais au cours de la phase d'exécution, de nouveaux matériaux ont été utilisés pour la fabrication du béton.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'extension du site d'Essakane et a comme objectif général l'amélioration continue de la production du béton. Cet objectif se traduit à travers plusieurs objectifs spécifiques :

- ❖ caractériser des matériaux de fabrication du béton ;
- ❖ maîtriser des coûts d'opération pour la fabrication d'un béton de qualité ;
- ❖ contribuer à l'amélioration continue de la fabrication du béton sur le site.

Ce document qui fait la synthèse de ce travail est structuré comme suit :

- ❖ présentation du projet et de la structure d'accueil;
- ❖ description du matériel de fabrication ;
- ❖ analyse de la fabrication de la centrale ;
- ❖ vérification de la formule encours d'utilisation ;
- ❖ étude du coût des opérations de bétonnages ;
- ❖ conclusions et des recommandations.

# **CHAPITRE I: PRÉSENTATION DU PROJET ET DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL**

## **I.1 Présentation de la structure d'accueil**

IAMGOLD est un important producteur aurifère de rang intermédiaire, possédant six mines d'or (comprenant les co-entreprises), situées sur trois continents. Au Québec, une province canadienne, la Société gère Niobec Inc., l'un des trois plus importants producteurs de niobium au monde, et détient une ressource d'éléments de terres rares à proximité de sa mine de niobium. IAMGOLD est en bonne position pour assurer sa croissance grâce à une saine santé financière, combinée à une expertise de gestion et d'exploitation.

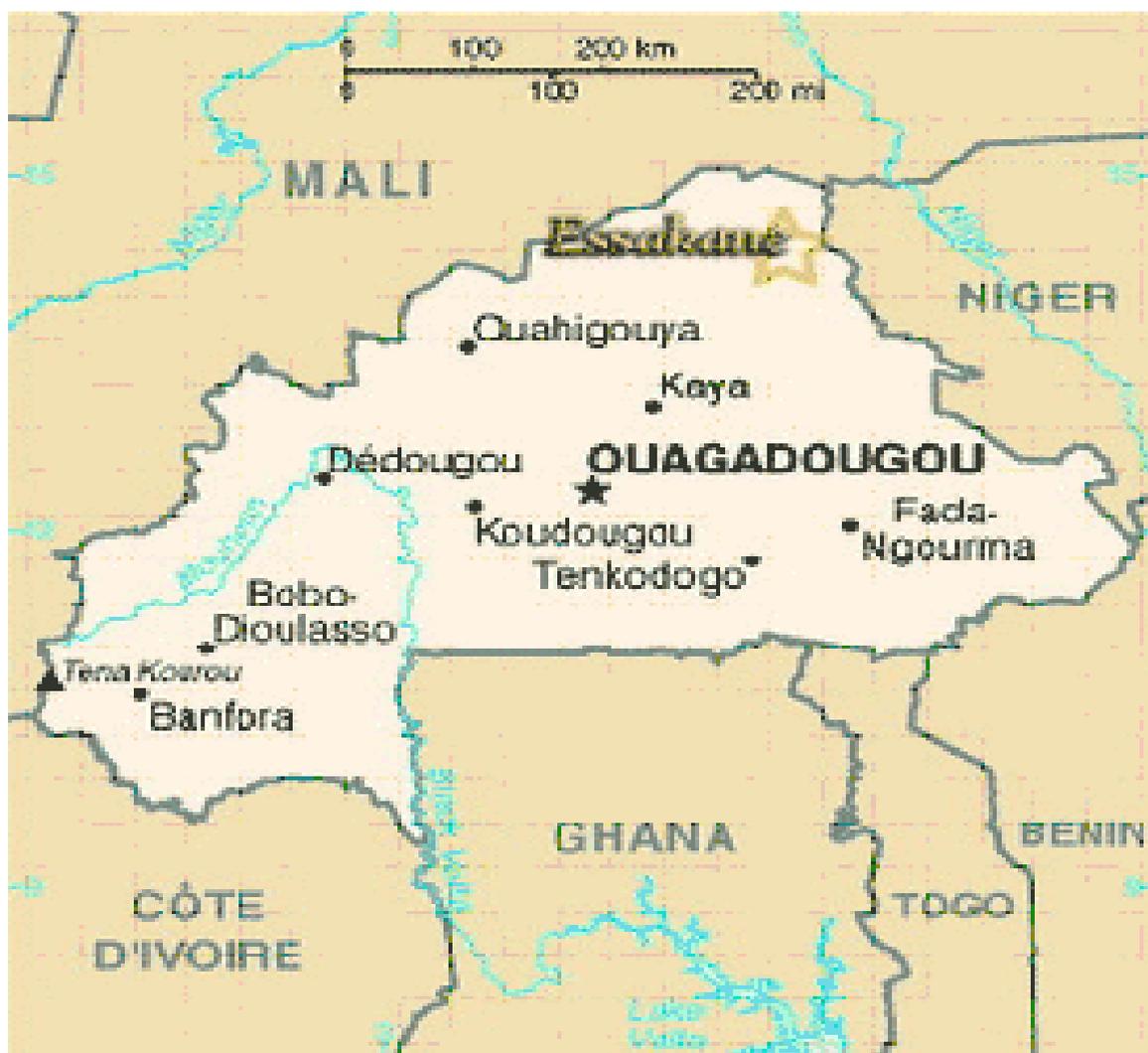
Afin d'évoluer grâce à cette base solide, IAMGOLD a établi un éventail de projets de développement et de prospection, et elle continue d'évaluer les possibilités de faire croître sa société par des acquisitions. Les plans de croissance d'IAMGOLD sont stratégiquement concentrés dans certaines régions du Canada et dans certains pays d'Amérique du Sud et d'Afrique, dans le cadre de ce projet seul IAMGOLD Essakane fera l'objet d'étude.

Elle est subdivisée en cinq départements : les Ressources Humaine ; Géologie, Mine et opérations ; Maintenance et l'Optimisation (département chargé des travaux de construction)

La propriété Essakane consiste en six permis d'exploration (Tassiri, Alkoma, Gomo, Gossey, Lao Gountouré, Korizéna), occupant une superficie d'environ 1069 km<sup>2</sup>. Le gisement de la zone principale d'Essakane (« gisement EMZ ») est situé dans le centre-nord de la zone couverte par le permis Tassiri, et l'extrémité nord-est de l'enveloppe de la fosse Whittle (optimisée sur le gisement EMZ) traverse la frontière nord de Tassiri.

## **I.2 Présentation du projet**

Le projet Essakane est situé dans le nord-est du Burkina Faso, en Afrique occidentale. Il chevauche la frontière entre les provinces d'Oudalan et de Séno, dans la région du Sahel du Burkina Faso, et se trouve à environ 330 km au nord-est de la capitale, Ouagadougou. Il est situé à 42 km à l'est de la grande ville la plus rapprochée et de la capitale provinciale d'Oudalan, Gorom-Gorom (fig. 1).

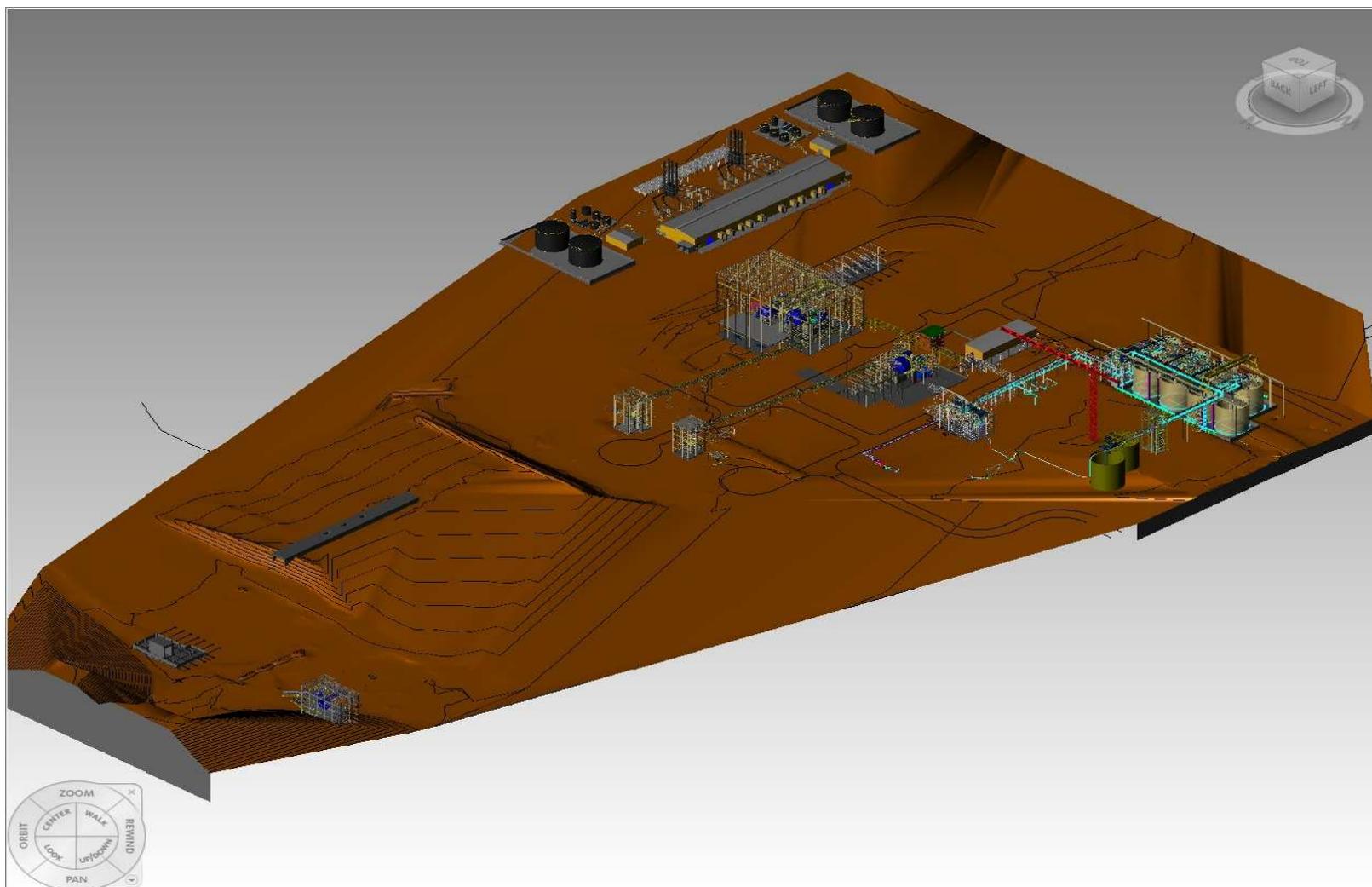


**Figure 1: Plan de situation du projet**

Dans le but d'améliorer la productivité de la mine, un projet d'extension a été conçu. Ce projet de fin d'étude se situe dans le cadre de cette extension. La première phase de construction a débuté en 2009 et s'est terminée à la mi-2010 avec un début d'exploitation en 2010 et la seconde phase qui concerne l'extension a débuté en 2011 avec une prévision de fin de travaux décembre 2013.

Le site Essakane est composé de l'usine de production de l'or et d'un camp (logement employés). L'usine d'Essakane, objet de cette étude, est subdivisée en plusieurs secteurs composés de différents ouvrages. Les figures 2 et 3 ci-dessous et à l'ANNEXE 1 présentent l'usine.





**Figure 3 : Vue en 3D de l'usine de production à la fin de l'extension**

## CHAPITRE II : FABRICATION DU BÉTON

### II.1 Définition du béton

Le béton est un mélange de sable, gravillon, ciment et eau. Il peut contenir aussi un ou plusieurs adjuvants, des poudres qu'on appelle additions, et éventuellement des fibres. Une fois les éléments mélangés et homogénéisés, on obtient un matériau que les physiciens appellent « pâte granulaire », dont la consistance peut varier, en fonction des besoins, de l'état ferme à fluide. Cette pâte granulaire durcit, même sous l'eau, après quelques heures, par un jeu de réactions chimiques des composés du ciment avec l'eau, qu'on appelle hydratation. La résistance du béton augmente avec le temps, mais, pour le dimensionnement des ouvrages, la résistance à l'âge de 28 jours est en général retenue, car elle donne une bonne estimation de la résistance finale.

### II.2 Classification des bétons

Il existe une multitude de formules et l'on désigne communément un type de béton par sa résistance nominale à la compression à 28 jours. Ainsi, les normes (françaises) ont adopté une classification qui est la suivante : B16, B20, B25, B30 et les bétons à haute performances (B35, B40, B50, B60, B120, B200), (Ex. B20 = Béton  $f_{c28j} = 20$  MPa).

A ces classes, correspondent des types d'ouvrage (fondations, structures..) ou des types de béton (béton de propreté, gros béton, béton auto plaçant, béton hautes performances et très hautes performances...)

#### II.1.1 Désignation des bétons

On définit un type de bétons par sa classe de consistance généralement mesurée au cône d'Abrams, par le choix du type de ciment (selon classification normalisée), du dosage minimal en ciment ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), relatif aux contraintes environnementales et par la dimension des granulats  $d/D$  (avec  $d$  et  $D$  respectivement le plus petit et le plus gros diamètre en mm du granulats), qui conditionnent la résistance du béton.

Ainsi, la désignation d'un béton est-elle aussi normalisée.

Une commande de béton se définit par :

- ❖ la dimension maximale des granulats ( $D$ ) ;
- ❖ la classe de consistance ;
- ❖ la résistance à la compression du béton à 28 jours ( $f_{c28}$ ) et
- ❖ l'aspect esthétique du parement dans le cas de béton brut-fini.

### **II.1.2 La classe de consistance**

On mesure l'affaissement « Aff » au cône d'Abrams en mm d'après la norme EN 206-1 on distingue cinq classes :

- ❖ S1: 30 ( $\pm 10$ ) mm ;
- ❖ S2: 70 ( $\pm 20$ ) mm ;
- ❖ S3 : 130 ( $\pm 30$ ) mm;
- ❖ S4 : 180 ( $\pm 30$ ) mm et
- ❖ S5 :  $\text{Aff} \geq 210\text{mm}$

La classe de consistance définit « l'ouvrabilité » (ou maniabilité) du béton c'est-à-dire la capacité de la matière à se mettre en place dans un moule.

### **II.1.3 Le dosage minimal en ciment**

On classe les ouvrages à construire selon les critères suivants :

- ❖ Données géographiques (plaine, montagne, bord de mer, continent)
- ❖ Exposition aux intempéries d'après valeurs météorologiques

Le dosage minimal en ciment est par ailleurs lié au dosage en granulat, à la dimension de « D » et à leur nature minéralogique ; des additions minérales potentiellement actifs peuvent être ajoutées au ciment (cendres volantes, laitiers, calcaires..) ou comme complément d'éléments fins au béton (fumées de silice).

Le choix et le dosage en ciment peuvent être guidés également par des considérations esthétiques ou plastiques.

### **II.1.4 La dimension des granulats :**

Le choix se fait d'après les granulats disponibles dans la région de construction. On retiendra trois types de granulats : les sables, les gravillons et les graviers.

Des ordres de grandeurs de dimensions d/D en mm, sont généralement admis sont :

- ❖ Granulométrie des sables comprise dans une fourchette de 0/5 mm,
- ❖ Granulométrie des graviers comprise dans une fourchette de 5/25 mm,
- ❖ Granulométrie des graviers grossiers comprise dans une fourchette de 25/80 mm

### II.3 Formulation du béton

L'étude de la composition d'un béton, consiste à définir le mélange optimal des différents constituants (granulats, ciment, eau, adjuvants) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de partie d'ouvrage en cause. Les méthodes de composition se subdivisent en deux types :

- ✓ Les méthodes à « granularité continue », si la courbe du graphique granulométrique s'élève d'une façon continue ; autrement dit du plus petit grain de ciment de dimension  $d_c \approx 6.3$ . (nanon) au plus gros grain D des granulats. Toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées. Exemple : béton constitué d'un sable 0/5 mm et deux graviers 5/20 mm et 20/50 mm.
- ✓ Les méthodes à « granularité discontinue », lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'élément intermédiaire  
Ex : béton constitué d'un sable 0/5 mm et d'un gravier 20/50.

La granularité continue permet d'obtenir des bétons plus plastiques et de bonne ouvrabilité ; Par contre la granularité discontinue conduit à des bétons présentant en général, des résistances en compression un peu supérieures mais au détriment de l'ouvrabilité ; il semble toutefois que la plus part des bétons actuellement utilisés sont à granularité continue.

Les paramètres principaux devant être définis sont : la maniabilité et la résistance du béton, la nature du ciment et le type de granulats.

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours, sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique  $\sigma_{c28}$ . Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15% à la résistance minimale en compression  $f_{c28}$  nécessaire à la stabilité de l'ouvrage :

$$\sigma'_{c28} = 1,15 \times f_{c28}$$

Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

- ✓ la méthode Baron ;
- ✓ la méthode Bolomey ;
- ✓ la méthode de Féret ;
- ✓ la méthode de Faury et
- ✓ la méthode Dreux-Gorisse.

La méthode de Dreux-Gorisse qui reste la méthode la plus utilisée dans nos pays, sera développée dans le cadre de cette étude.

### Formulation de béton par la méthode de Dreux- Gorisse :

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

- ✓ Détermination du rapport C/E

Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey :  $\sigma'_{c28} = G' \sigma'_c \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$

$$\sigma'_{c28} = G' \cdot \sigma'_c \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right) \text{ Avec :}$$

$\sigma'_{c28}$  = 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 (annexe 2-B) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

- ❖ Détermination de C

La valeur de C 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.

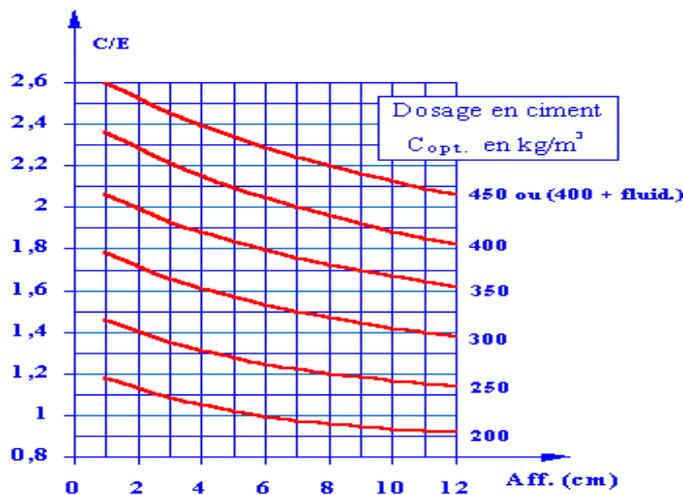


Figure 4: Détermination de C par l'abaque de Dreux

Le dosage effectif de ciment  $C$  à retenir doit être supérieur ou égal à  $C_{opt.}$ , et aux valeurs minimales  $C_{min}(kg/m^3)$  données par les formules 1 à 3 (Dreux Gorisse) pour les bétons non normalisés.

(1) : Milieu non exposé Avec :  $\sigma'_{c28}$  en MPa et  $D_{max}$  en mm :

$$C_{min} = \frac{250 + 10 \sigma'_{c28}}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}}$$

(2) : Milieu exposé sans agressivité particulière

$$C_{min} = M_{max} \left[ \frac{250 + 10\sigma'_{c28}}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}}, \frac{550}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}} \right]$$

(3) : Milieu agressif

$$C_{min} = M_{max} \left[ \frac{250 + 10\sigma'_{c28}}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}}, \frac{700}{\sqrt[5]{1.25D_{max}}} \right]$$

✓ Détermination de E

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs de C/E et de C. Toute fois des corrections doivent être apportées sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E.

Lorsque la dimension maximale des granulats  $D_{max}$  est différente de 20 mm, une correction sur la quantité de pâte est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. L'annexe 2-C montre les corrections à apporter sur les quantités d'eau et de ciment (le rapport C/E reste inchangé).

✓ Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros.

L'**annexe 2-E** donne des corrections à apporter ( $c_1$ ,  $c_2$  et  $c_3$ ) en fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment

✓ *Détermination du mélange optimal à minimum de vides*

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vides consiste à tracer la droite brisée de référence, à déterminer des pourcentages en volumes absolus de matériaux et à déterminer des masses de granulats.

❖ *Tracé de la droite de référence de Dreux :*

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

En abscisse :

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

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

$$\text{En ordonnée : } Y = 50 - \sqrt{1.25(D_{\max})} + K' \text{ où } K' = K + K_s + K_p$$

Y est donné en pourcentage de passants cumulés

K est un coefficient donné à l'annexe 2-D, Ks et Kp étant des coefficients correctifs définis par :

Ks (correction supplémentaire fonction de la granularité du sable) :

$$K_s = (6 M_{d_{fs}} - 15) \text{ avec } M_{d_{fs}} \text{ le module de finesse du sable.}$$

Kp (correction supplémentaire si le béton est pompable) :

$$K_p = +5 \text{ à } +10 \text{ selon le degré de plasticité désiré.}$$

La droite de Dreux a pour origine le point O origine du graphe et pour extrémité le point  $D_{\max}$  caractéristique des plus gros granulats.

✓ Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux :

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 5 % de refus pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces pourcentages doivent permettre l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux. Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire.

✓ Détermination des masses de granulats

Connaissant le volume total absolu des granulats ( $V$ ) et les pourcentages en volume absolue de sable ( $S$  %), de gravillon ( $g$  %) et de gravier ( $G$  %), il est alors possible de déterminer les volumes de sable ( $V_s$ ) de gravillon ( $V_g$ ) et de gravier ( $V_G$ ) ainsi que leurs masses respectives ( $S$ ,  $g$  et  $G$ ).

La formulation obtenue reste théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée.

La composition théorique de béton est établie pour des matériaux secs. Il est impératif avant confection du béton de prendre en considération l'eau contenue dans les granulats. Une mesure de teneur en eau doit être par conséquent effectuée ( $w = \text{Masse d'eau} / \text{Masse sèche}$ ).

## II.4 Les essais sur béton

L'on distingue des essais sur béton frais et les essais sur béton durci qui ont respectivement pour but de vérifier l'ouvrabilité et la résistance à la compression.

### II.4.1 Essai sur béton frais

#### ❖ Essai au cône d'Abrams

Cet essai, consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais.

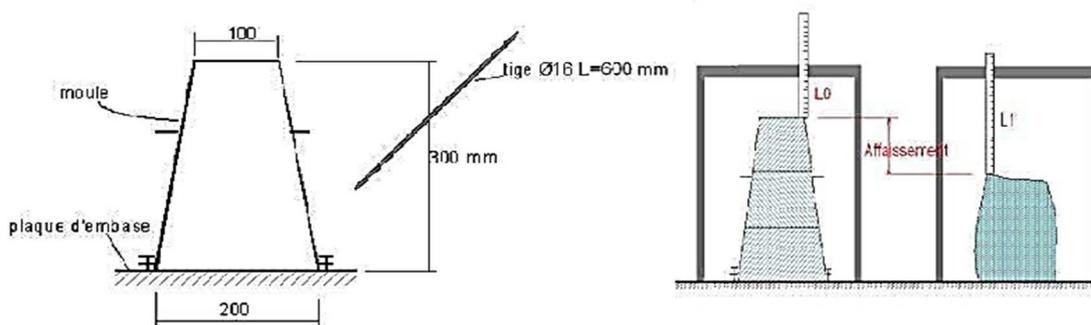


Figure 5: Essai au cône d'Abrams

#### ✓ Essai d'écoulement au maniabilimètre LCPC

Cet essai consiste à mesurer le temps d'écoulement nécessaire à un volume de béton soumis à des vibrations pour atteindre un repère donné. Une partie de la cuve étant remplie avec du béton, le soulèvement paroi mobile permet de déclencher la mise en vibration de l'ensemble de l'appareil (fig6).

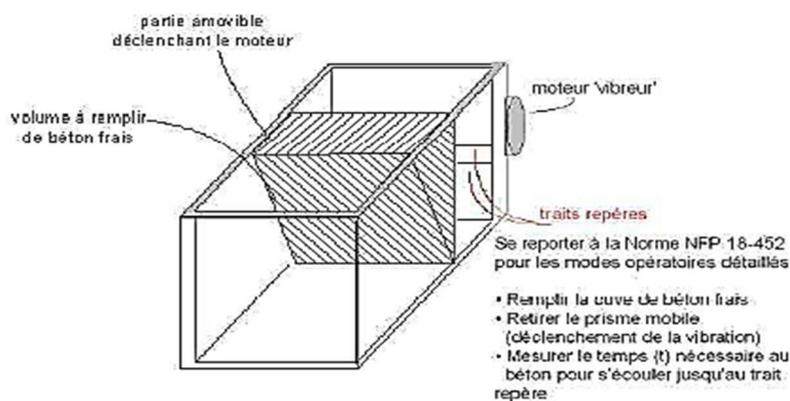
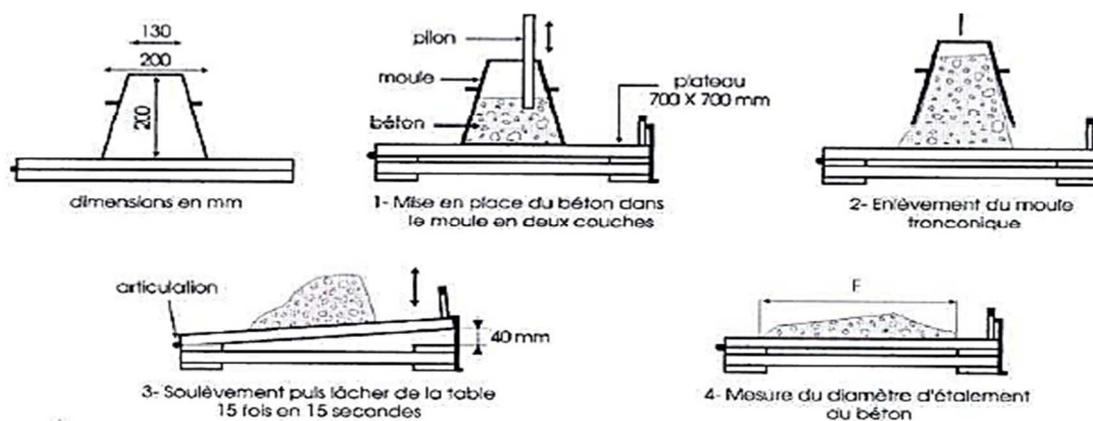


Figure 6: Essai d'écoulement au maniabilimètre LCPC

### ✓ Essai d'étalement

Cet essai simple à réaliser, est très utilisé pour apprécier la consistance des bétons fluides. Il n'est pas adapté pour les bétons fermes et la dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 40 mm (fig7).



**Figure 7: Essai d'étalement**

Les autres essais comparatifs sont mentionnés à l'annexe 2-F.

### II.4.2 Essai sur béton durci

L'objectif visé à travers ses essais consiste à déterminer des performances mécaniques du béton de manière destructive et non destructive au moyen des essais les plus courants. Parmi ces essais on peut citer :

- ✓ Essai d'auscultation sonique (mesure de la vitesse du son dans le béton) ;
- ✓ Essai au scléromètre (mesure de la dureté au choc) ;
- ✓ Essai de résistance à la compression : elle consiste à déterminer la résistance caractéristique à la compression et
- ✓ Essai brésilien (traction par fendage) : l'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant 2 génératrices opposées, entre les plateaux d'une presse.

### II.5 Moyens de contrôle de la régularité de qualité du béton

La synthèse ci-dessus a montré que lors de la fabrication, plusieurs facteurs peuvent affecter la qualité des bétons produits. Le contrôle est l'opération dans laquelle les différentes démarches sont prises en compte pour maîtriser les facteurs qui entraînent des variations des propriétés prescrites.

✓ Réglementation normative

La norme européenne NF EN 206-1 s'applique aux bétons et à la production du béton prêt à l'emploi. Cette norme distingue deux types de béton, béton à propriété spécifiée (BPS) et béton à composition prescrite (BCP), pour lesquels la fabrication est soumise à des contrôles dont la nature et les fréquences sont précisément décrits dans cette norme. Les fournisseurs des BPE doivent effectuer à la fois le contrôle de conformité et le contrôle de production.

Le contrôle de conformité a pour but de vérifier que la centrale peut produire des bétons d'exigences (composition et/ou propriétés) conformes aux règles de reconnaissance de conformité pré-adoptées. Le contrôle de conformité fait partie intégrante du contrôle de production.

Le contrôle de production est mis en œuvre sous la responsabilité du producteur et a pour but de fabriquer tous les bétons soumis aux spécifications préconisées par la norme en vigueur (NF EN 206-1). Le système de contrôle de production regroupe toutes les procédures et les instructions internes à la chaîne de production, d'une part, et les fréquences d'essais et d'inspections prévues par le producteur, d'autre part. Le producteur prend donc toutes les mesures pour assurer la conformité du béton aux exigences spécifiées :

- ❖ la sélection des matériaux ;
- ❖ la formulation du béton ;
- ❖ le suivi des conditions de fabrication ;
- ❖ les essais et inspections (constituants, bétons et matériels de fabrication) ;
- ❖ la maîtrise des résultats d'essais sur constituants, sur bétons frais et durcis et sur
- ❖ matériels.

✓ Enregistrement des paramètres de fabrication

L'enregistrement des paramètres de fabrication permet de détecter le fonctionnement des matériels au sein d'une unité de production et de rendre possible l'amélioration de la régularité de la qualité du béton. Dès 1967, Durieux a montré l'intérêt du suivi de la fabrication et du contrôle des bétons. Les contrôles traditionnels consistent à confectionner un nombre restreint d'éprouvettes, peu représentatif vis à vis de la quantité des bétons mis en place sur le chantier. Charbonnat et Tricart, 1970 en utilisant des informations enregistrées sur une centrale à béton, ont pu détecter des gâchées à éliminer. Une méthode complète de dépouillement a été proposée par Brachet et al, 1976 .Les paramètres à enregistrer sont :

- ✓ pesées des constituants ;
- ✓ durée et ordre du dosage des composants ;
- ✓ humidités des granulats et
- ✓ puissance consommée par le malaxeur.

Les enregistrements des pesées permettent de vérifier à tout moment si les dosages respectent les tolérances imposées par les normes (**annexe 2-G**). On peut également obtenir des informations sur les qualités du béton durci sans attendre 28 jours, en analysant a posteriori les fluctuations des paramètres de composition, même si la qualité finale du béton dépend aussi des conditions de mise en œuvre et de cure.

## CHAPITRE III : DESCRIPTION DU MATÉRIEL DE FABRICATION

### III.1 Matériel de fabrication et de contrôle

Dans ce volet on présentera, le matériel de fabrication et de contrôle du béton sur site.

#### III.1.1 Matériel de fabrication

La production du béton sur le site est réalisée à l'aide d'une centrale à béton de capacité de 30m<sup>3</sup>/h, sans malaxeur (figures ci-dessous et annexe 3-A). Elle est composée d'un silo à ciment équipé de vis et de balance doseur, deux compartiments de réception d'agrégat, une bascule à eau alimentée par une pompe à travers des tuyaux et d'une salle de commande.



**Figure 8: Vue de la centrale à béton d'Essakane (à gauche) et du tableau de commande (à droite)**



**Figure 9: Aire de stockage matériaux et matériels de transport du béton (camions toupies)**

### III.1.2 Matériel de contrôle

Des contrôles sont effectués sur béton frais et durci avec des matériels ci-dessous :



**Figure 10 : Presse à béton**



**Figure 11 : cône d'Abrams**



**Figure 12 : Eprouvettes cylindriques 16X32**

### III.2 Plan d'assurance qualité

Cette politique est basée sur l'application des règles définies par les normes et DTU qui préétablistent les règles et comportement en matière de bétonnage. Ainsi dit la politique qualité d'Essakane en matière de fabrication du béton se résume comme suit :

- ✓ La mise en place d'équipes de techniciens et d'opérateurs géotechniques ;
- ✓ l'application des formulations de béton en fonction des secteurs de bétonnage et résultats de béton a la compression escomptée recommandées par les plans provenant du maître d'œuvre et mode de mise œuvre ;
- ✓ vérification en amont des valeurs lors des opérations de bétonnage, le contrôle et l'appréciation visuelle avant la fourniture sur le chantier ;
- ✓ en aval, essais de contrôle : principalement affaissements ; prélèvements ; mise à la cure des échantillons et écrasement in situ et contradictoire périodiques et le suivi régulier des cures des ouvrages exécutés et
- ✓ un suivi permanent lors des mises en œuvre pour faire respecter les modes de vibrations et délais de vibrations ainsi que les procédés de mise en place afin d'obtenir des structures homogènes d'où l'emploi fréquent d'adjuvant ; puis enfin les compilations des résultats et l'enregistrement résultats des différents essais.

## CHAPITRE IV: ANALYSE DE LA PRODUCTION DE LA CENTRALE À BÉTON DE IAMGOLD ESSAKANE

### IV.1 Dosage des bétons

Les dosages retenus en fonction des granulats et du ciment sont :

**Tableau 1: Formules utilisées**

Classe	Granite 5-15-25 [kg]	Sable rivière [kg]	Ciment [kg]	Eau [litres]	Adjuvant [L/m <sup>3</sup> ]	E/C
B 15	1275	680	150	200		1.33
B 20	1275	680	200	200		1.00
B 25	1275	680	250	200		0.80
<b>B 30</b>	<b>1275</b>	<b>680</b>	<b>350</b>	<b>200</b>	<b>0.5 à 1</b>	<b>0.57</b>

L'adjuvant utilisé est le plastiretard, un produit de la gamme Sika, (fiche technique voir à l'annexe 4-H)

### IV.2 Statistiques et analyse de la production.

Comparer aux grandes centrales, équipées d'un automate qui enregistre de façon permanente les données de fabrication permettant ainsi de détecter toute anomalie survenue sur un gâchage fabriqué et d'éliminer des gâchées incorrectes par l'analyse des écarts dosage (annexe 2-G).

La centrale utilisée n'est pas équipée d'automate, ainsi seuls les enregistrements des opérateurs de la centrale, les résultats de slump test et des fiches d'écrasement sur béton feront l'objet d'étude approfondie.

Démarrée vers fin 2011, la production du béton a évolué tout au long du chantier suivant la cadence des travaux. Dans la suite de ce travail, l'on procédera à l'état des lieux de la production de la période de février 2012 à avril 2013.

#### **IV.2.1 Caractérisation des matériaux de fabrication du béton**

La gestion des matériaux de fabrication, est un processus très important dans la fabrication du béton. L'on vise à travers cette phase :

- ✓ éviter les ruptures de stocks;
- ✓ assurer que les matériaux approvisionnés respectent le cahier de charges.

Une caractérisation des matériaux utilisés pour la fabrication du béton s'impose dû au changement de fournisseur de granulat au cours de la phase d'exécution du chantier, car les propriétés du béton durci et frais dépendent essentiellement des caractéristiques des matériaux qui le composent. Cette étude se focalisera essentiellement sur les agrégats. L'objectif de cette étude est de s'assurer que les matériaux livrés par le nouveau fournisseur d'agrégat respectent les dispositions prescrites par le cahier des charges.

Dans le cadre de cette étude une série d'essais a été réalisée sur les agrégats dont les résultats sont présentés à l'annexe 4.

#### **IV.2.2 Ciment**

Le ciment utilisé est un ciment de type CM I 32.5. La composition et les autres caractéristiques du ciment sont présentées à l'annexes 4-A.

#### **IV.2.3 L'eau de gâchage**

L'eau utilisée pour la fabrication du béton provient des forages sur le site. C'est une eau exempte de toute impureté pouvant affectée la qualité du béton.

#### **IV.2.4 Les granulats**

Le béton fabriqué sur le site est composé d'un sable de rivière provenant de la région du sahel et du granite concassé provenant de la région du centre du Burkina Faso. Afin de connaître les propriétés de ces différents granulats des essais ont été réalisées sur des matériaux de production à savoir :

- ✓ Le poids spécifiques;
- ✓ Densité apparente;
- ✓ Analyse granulométrique;
- ✓ Équivalent de sable;
- ✓ Los Angeles

Ces essais ont été réalisés par le LNBTP (Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics) les résultats de ces essais sont présentés aux annexes 4-B, 4-C, 4-D.

Afin de maîtriser la variation de la teneur des agrégats utilisés sur site, des essais de teneur en eau des agrégats ont été faits sur une durée de 07 jours (annexe 4-G, annexe 4-H, annexe 4-I).

#### IV.2.5 Récapitulatif des essais

L'analyse granulométrique permet de distinguer les granulats suivant des classes granulaires qui sont commercialisées par les fournisseurs. L'élaboration d'une composition de béton nécessite une connaissance parfaite de la granulométrie et de la granularité, car la résistance et l'ouvrabilité du béton dépendent essentiellement du granulat.

Le tableau 2 ci-dessous présente le récapitulatif des essais sur granulat.

**Tableau 2: Récapitulatif des essais**

Nature	Classe granulaire	poids spécifique [g/cm <sup>3</sup> ]	Densité apparente [g/cm <sup>3</sup> ]	Equivalent de sable piston [%]	Los Angeles [%]	Module de finesse	Propreté superficielle [%]	Teneur eau moyenne [%]
Sable de rivière	0/5	2.69	1.5	<b>29.5</b>	-	<b>1.83</b>	-	1.15
Granite concassé 5/15	5/15	2.68	1.43	-	41	-	0.2	0.04
granite concassé 15/25	15/25	2.66	1.41	-	36	-	0.08	0.06

#### IV.2.6 Analyse des résultats des essais

Les résultats de ces différents essais révèlent :

- ✓ Un sable dont ESV (équivalent de sable)=29.5% <65 (annexe 4-F) et Mdf (module de finesse)= 1.83 donc on a un sable limoneux, un Mdf hors de l'intervalle recommandé pour les sables de béton de qualité ( $2.2 \leq Mf \leq 2.8$ ) avec une proportion de fine de 9.5% (supérieur à limite autoriser 5%). L'utilisation de ce sable entraînera une augmentation du dosage en eau, risque du retrait du béton avec une bonne ouvrabilité au détriment de la résistance, par contre les résultats du granite concassé sont satisfaisants.
- ✓ La valeur de Los Angeles obtenue sur les granites concassés (Los Angeles > 30) sont satisfaisants.

#### IV.2.7 Production mensuelle

La production moyenne mensuelle de béton est d'environ 861 m<sup>3</sup> (tableau 1) correspondant à 30 m<sup>3</sup>/j.

L'analyse des tableaux 3 et 4 et la figure 13 révèle deux phases de fabrication :

- ✓ La période de fév. 2012 à sep 2012 marquée par un pic de fabrication mensuelle de 705 m<sup>3</sup> avec une moyenne mensuelle de 455 m<sup>3</sup> soit une fabrication journalière moyenne de 15 m<sup>3</sup> et
- ✓ La période de sep 2012 à mai 2013 marquée par un pic de fabrication mensuelle de 3104 m<sup>3</sup> avec une moyenne mensuelle de 2130 m<sup>3</sup> soit une fabrication journalière moyenne de 71 m<sup>3</sup>.

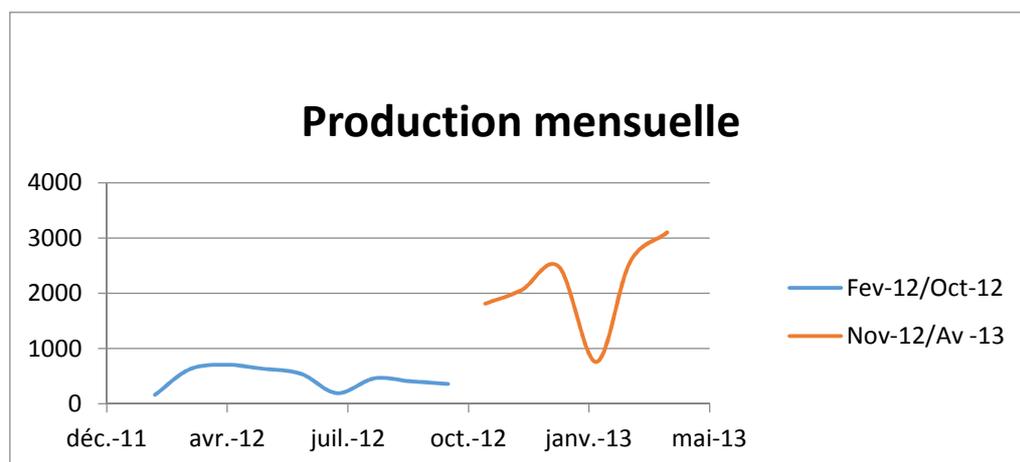
Ces données montrent que la fabrication du béton sur le site varie selon l'évolution du chantier.

**Tableau 3 : Données de production (02-2012/09-2012)**

Donnée de production		
1	févr-12	163
2	mars-12	627
3	avr-12	705,5
4	mai-12	634
5	juin-12	546
6	juil-12	194
7	août-12	461
8	sept-12	404
9	oct-12	358,92
Moyenne mensuelle		<b>454,82</b>
Ecart type		192,97323
Moyenne journalière		<b>15,16</b>

**Tableau 4 : Données de production (12-2012/04-2013)**

Donnée de production		
10	nov-12	1813,58
11	déc-12	2057,75
12	janv-13	2 481,20
13	févr-13	756,90
14	mars-13	2566
15	avr-13	3104
Moyenne mensuelle		<b>2129,91</b>
Ecart type		806,580272
Moyenne journalière		<b>70,99</b>



**Figure 13: Variation de la production mensuelle**

#### IV.2.8 Fréquence de production par formule et par gâchées

Les tableaux 5 et 6 et figures 14 et 15 ci-dessous présentent une étude statistique de la fabrication du béton à la centrale d'Essakane en fonction de la fabrication par classe et par gâchée.

Les résultats des tableaux 5 et 6 et figures 14 et 15 ci-dessus montrent que :

- ✓ plus des  $\frac{3}{4}$  de la fabrication du fev 2012 à mai 2013 d'une part est de la classe B30 (béton de structures des ouvrages du projet) et d'autre part la fabrication de béton de classe ;B15, B20 et B25 pour autres travaux dont le cahier de charges n'a pas imposé un béton de classe B30.
- ✓ Les gâchées fabriqués au niveau de la centrale varie de  $1\text{m}^3$  à  $8\text{m}^3$  avec une fabrication courante de gâchées de  $7\text{m}^3$

**Tableau 5 : Fréquence de production en fonction de la classe**

	B15	B20	B25	B30
Nbre gâchée	1	12	109	476
Fréquence	0,18%	2,15%	19,53%	85,30%
Total				558

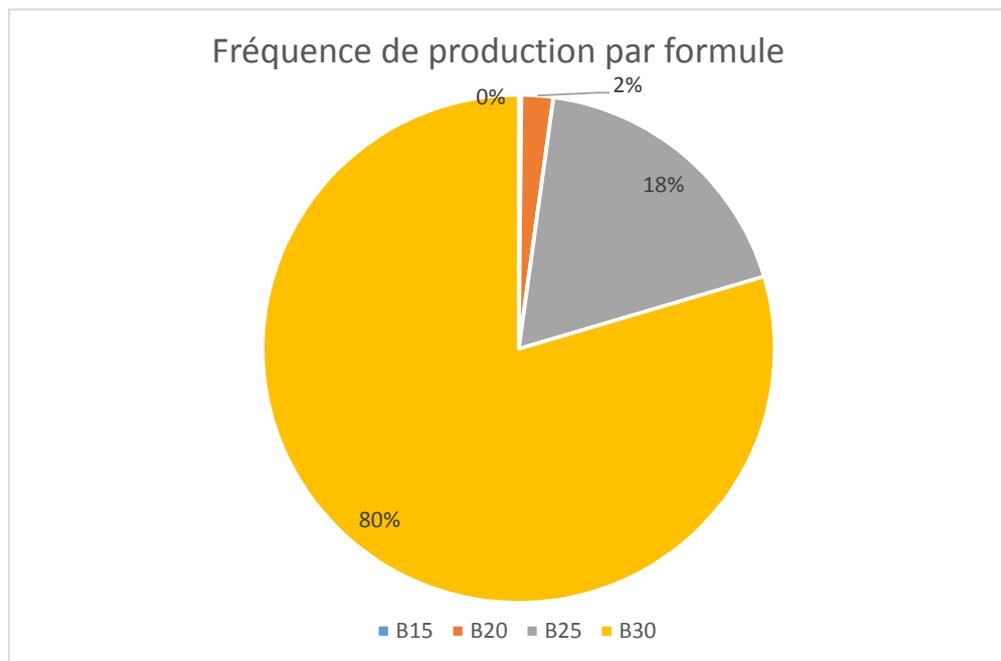


Figure 14: Fréquence de production par classe

Tableau 6 : Fréquence de fabrication par gâchée à la centrale à béton

1 m3	1,5 m3	2 m3	2,5 m3	3 m3	4 m3	4,5 m3	5 m3	6 m3	7 m3	8 m3
41	3	54	2	59	35	17	46	58	251	113
6%	0,4%	8%	0,3%	9%	5%	3%	7%	9%	37%	17%

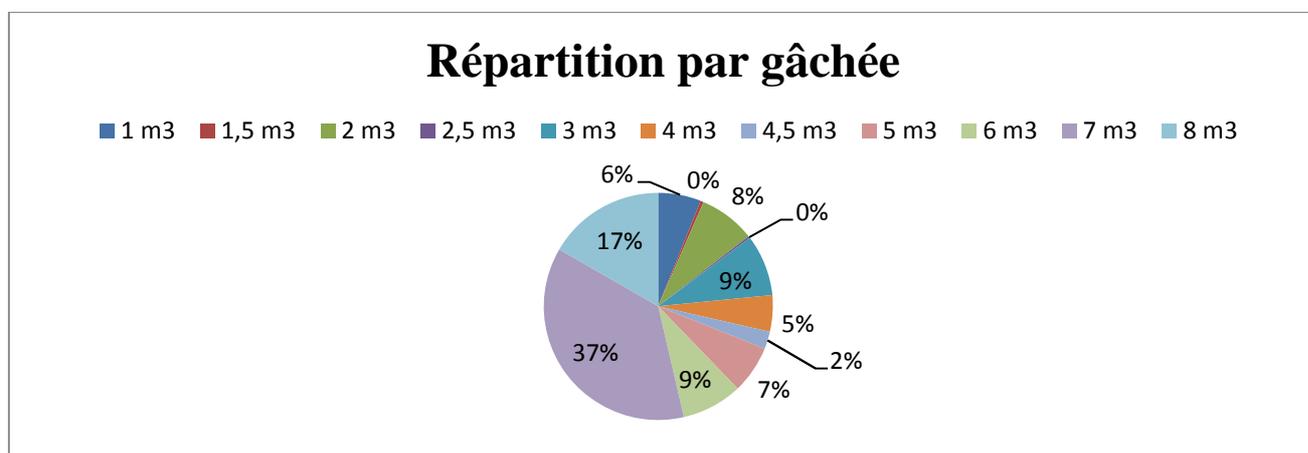


Figure 15: Répartition par gâchée

#### IV.2.9 Résistance moyenne à la compressions cas des ouvrages de $f_{c28}=30\text{MPa}$

Dans le cadre du suivi de la production, des essais ont été réalisés sur béton frais (affaissement au cône d'Abrams) et sur béton durci (compression d'éprouvettes cylindrique de béton 16X32). Dans le but de suivre les résultats obtenus sur le béton durci, il est proposé une étude statistique des relevées de fiche d'écrasement d'un ouvrage du secteur 301 (Tunnel avec  $3500\text{m}^3$  de béton). Les fiches d'écrasement sont jointes à l'annexe 4-J. La variation des résistances obtenues à 07 jours et à 28 jours fera l'objet de cette étude.

Les résultats présentés dans les tableaux 7 et 8 et les figures 16 à 19 sont regroupés en fonction des différentes parties de l'ouvrage (voiles, radier et tablier), les résultats du radier et des voiles feront uniquement l'objet d'étude dans cette partie (le tablier n'étant pas encore réalisé).

**Tableau 7 : Résultats essais d'écrasement sur cylindre 16X32 (radier)**

	Coulées	Prélèvements	7j	28j	Aff cm
	<b>Radier secteur 301 (tunnel)</b>	1	P1	27,23	33,45
P2			27,91	33,4	<b>14</b>
P3			28,21	33,86	<b>15</b>
2		P1	28,61	34,76	<b>10</b>
		P2	28,41	34,68	7
		P3	28,6	34,7	<b>10</b>
		P4	28,33	34,36	<b>11</b>
3		P1	27,15	33,16	9
		P2	26,93	32,91	<b>14</b>
		P3	26,36	33,7	<b>14</b>
4		P1	26,13	32,36	9
		P2	26,71	33,7	8
	P3	16,71	32,85	<b>10</b>	
	P4	27,7	33,28	8	
	Moyenne	26,785	33,655	<b>11</b>	
	Ecart type	3,016	0,749	3	

**Tableau 8 : Résultats essais d'écrasement sur cylindre 16X32 (voile)**

Voile secteur 301 (tunnel)	Coulées	7j	28j	Aff cm
	1	27,7	34,21	<b>15</b>
	2	27,7	33,4	8
	3	26,93	32,96	7
	4	27,81	33,15	<b>12</b>
	5	27,95	34,03	7
	<b>Moyenne</b>	<b>27,618</b>	<b>33,55</b>	<b>10</b>
<b>Ecart type</b>	<b>0,398</b>	<b>0,547</b>	<b>3,442</b>	

Dans cette série de résultats on remarque que l'ensemble des résistances à 28jours obtenue est supérieur à 30MPa, la résistance moyenne est de 33,5 MPa avec une résistance minimale de 32.15 MPa et une maximale de 34.76 MPa et un écart type variant entre 0.75 et 0.55. Les résultats des résistances à la compression obtenues à 28 jours doivent faire l'objet d'analyse poussée.

#### IV.2.10 Relevées de production

**Tableau 9 : Extrait relevées de production de la centrale du 08/04/2013 au 10/04/2013**

DATE	Heure	volume m <sup>3</sup>	Granite 5/25 [Kg]	Sable Kg	CIMENT Kg	Eau (Kg)	E/C
08/04/2013	14h00	7	8925	4760	2450	1840	0,75
08/04/2013	14h28	7	8925	4760	2450	1810	0,74
08/04/2013	14h51	7	8925	4760	2450	1850	0,76
08/04/2013	15h19	7	8925	4760	2450	1830	0,75
08/04/2013	15h51	7	8925	4760	2450	1790	0,73
08/04/2013	16h34	7	8925	4760	2450	1780	0,73
08/04/2013	16h57	7	8925	4760	2450	1820	0,74
08/04/2013	17h28	7	8925	4760	2450	1810	0,74
08/04/2013	17h49	7	8925	4760	2450	1770	0,72
09/04/2013	18h47	1	1275	<b>680</b>	350	300	0,86
09/04/2013	13h01	7	8925	4760	2450	1920	0,78
09/04/2013	13h49	7	8925	4760	2450	1910	0,78
09/04/2013	14h14	7	8925	4760	2450	1810	0,74
09/04/2013	14h40	7	8925	4760	2450	1910	0,78
09/04/2013	15h11	7	8925	4760	2450	1910	0,78
09/04/2013	15h36	7	8925	4760	2450	1920	0,78
09/04/2013	16h19	3	3825	1890	1050	750	0,71
09/04/2013	21h12	7	8925	4760	2450	1860	0,76
10/04/2013	09h40	1	1275	<b>680</b>	350	340	0,97
10/04/2013	09h54	3	3825	1890	900	950	1,06
10/04/2013	19h02	7	8925	4760	2450	1810	0,74
10/04/2013	23h06	7	8925	4760	2450	1800	0,73

L'analyse de ces données révèle :

- ✓ Un dosage constant en agrégat (sable 0/5 : 680Kg et mélange Granite (5/15 et 15/25) : 1275Kg avec dosage en ciment de 350Kg pour 1 m<sup>3</sup> de béton); ces valeurs sont à titre indicatif car elles ne permettent de vérifier les écarts dans le dosage des différentes gâchées (la centrale n'est pas équipée d'automate);
- ✓ Un rapport E/C variant de 0.71 à 1.06 avec une moyenne de 0.78, toutes ces valeurs sont supérieures à 0.6 rapport E/C recommandée pour la formule utilisée.

Il en ressort de ces données un écart dans le dosage en eau des bétons ceci est dû en partie au sable (Tableau 2) utilisé pour la fabrication et la difficulté de maîtriser le dosage en eau des bétons sur ce type de centrale à béton.

## CHAPITRE V: VÉRIFICATION DE LA FORMULE DE BÉTON EN COURS D'UTILISATION

### V.1 Données

La méthode de Dreux a été développée au Chapitre III et sera appliquée pour cette vérification. L'objectif visé ici consiste à vérifier si le dosage utilisé pour la fabrication de béton correspond aux nouveaux matériaux utilisés.

- ✓ Données sur granulats confère Tableau 2 ;
- ✓ Ciment CM I  $\sigma_{c28} = 45MPa$ ;
- ✓  $F_{c28}=30MPa$  ;
- ✓ Vibration normale ;
- ✓ Masse volumique réelle du ciment :  $3.10t/m^3$  et
- ✓ Affaissement souhaité : 90 mm.

### V.2 Note de calcul

#### V.2.1 Dosage en ciment

Le dosage en ciment doit être supérieur à la normale valeur minimale imposée

$$C_{min} = \frac{250+10*\sigma}{\sqrt[5]{D_{max}}} \text{ Avec, } D_{max} = 25mm \text{ et } \sigma_{c28} = 45MPa \Rightarrow C_{min} = 367.8 kg/m^3$$

Dans cette étude on vise un béton de structure et compte tenue de la qualité du sable un dosage courant de  $C=400 kg/m^3$  est proposé.

Rapport C/E

Ce rapport peut être déterminé en utilisant la formule de BOLOMEY :

$f_{c28} = \sigma_{c28} \cdot G \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$  Avec  $G'$  : coefficient granulaire et  $\sigma_{c28}$  : résistance du béton à la compression à 28jours.

Compte tenu de la difficulté d'apprécier réellement  $G$  dans ce cas, l'abaque de Dreux sera utilisé (Figure 4) à fin d'évaluer approximativement le rapport C/E connaissant le dosage en ciment et l'affaissement désiré.

Ainsi avec  $Aff=90mm$  et  $C=400 kg/m^3$  on a :  $\frac{C}{E} = 1.90$

### V.2.2 Dosage en eau

Connaissant C et C/E on a :  $E=210\text{ L}$

D'après l'annexe 2-C il n'y a pas de correction à faire sur le dosage en eau et en ciment avec  $D_{max} = 25\text{mm}$ .

### V.2.3 Détermination de la compacité du béton

Avec un béton plastique ( $Aff=90\text{mm}$ ) et une mise en place par vibration normale, l'annexe 2-E donne pour  $D_{max} = 25\text{mm}$  ;  $\gamma = 0.825$ .

Après correction on a  $\gamma_{corr} = 0.815$

### V.2.4 Dosage en sable et granite concassé

Les volumes des constituants solides pour  $1\text{m}^3$  de béton :

- ❖ Volume absolu :  $1000 \cdot \gamma = 815\text{l}$
- ❖ Volume total ciment :  $\frac{400}{3.1} = 129\text{l}$
- ❖ Volumes absolu des granulats :  $815 - 129 = 686\text{l}$

La courbe de composition de béton donne :

- Sable (0/5) : 36%
- Granite concassé (5/15) : 20%
- Granite concassé (15/25) : 44%

Les dosages volumétriques et pondéraux obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 10 : Récapitulatif dosage pour  $1\text{m}^3$  de béton**

Matériaux	V [l]	Masse [Kg]
Ciment	129	<b>400</b>
Sable (0/5)	247	<b>660</b>
Granite (5/15)	136	<b>365</b>
Granite (15/25)	303	<b>805</b>
Eau	210	<b>210</b>

### V.3 Comparaison entre le dosage en cours d'utilisation et celui issu de la vérification

Le tableau 11 ci-dessous présente la formule en cours d'utilisation et celle obtenue après vérification.

En faisant une comparaison des deux formules on remarque que :

- ❖ Le dosage en ciment en cours est inférieur au dosage minimum ( $375 \text{ Kg/m}^3$ ) ;
- ❖ L'écart du dosage en granulat entre les deux formules est faible

Cette étude de vérification confirme la validité de la formule en cours d'utilisation par rapport au dosage en granulat, mais toute fois le dosage en ciment doit augmenter car le dosage minimal est de  $C_{min} = 367.8 \text{ Kg/m}^3$  alors que actuellement il est de  $350 \text{ Kg/m}^3$ .

Il faut signaler également que le sable utilisé actuellement n'est pas recommandé pour la fabrication de béton de qualité et que les dosages en adjuvant non pas été mentionné dans les registres de la centrales.

**Tableau 11: Formule en cours d'utilisation et celle obtenue après vérification**

Matériaux	Formule utilisée	Formule obtenue après vérification	Ecart [Kg]
	Masse [Kg]	Masse [Kg]	
Ciment	350	400	-50
Sable (0/5)	680	665	+15
Granite (5/15)	1275	1170	+105
Granite (15/25)			
Eau	200	210	-10

## CHAPITRE VI: CHOIX DU POSTE DE BÉTONNAGE ET ÉTUDE DU COÛT D'OPÉRATION

### VI.1 Choix du poste de bétonnage

La production de 18000 m<sup>3</sup> de béton avec une résistance minimale à la compression à 28 jours de 30MPa nécessite de la main d'œuvre qualifiée, du matériel et des matériaux avec des caractéristiques bien définies. Ainsi, dans le souci de maîtriser l'aspect financier de la fabrication et d'identifier les différents poste de dépense : il est présenté à travers les lignes qui suivent un bref aperçu sur le choix du poste de bétonnage.

Pour un chantier, on a globalement le choix entre deux méthodes :

- ✓ le Béton Prêt à l'Emploi (BPE), livré par camions toupies externes au chantier,
- ✓ le Béton Fabriqué sur Chantier (BFC), réalisé sur site par un engin de production (bétonnière ou centrale à béton).

Le choix du poste de bétonnage nécessite une étude conséquente dont l'élément prépondérant est le prix de revient du m<sup>3</sup> de béton.

Ce prix et le choix final dépendent de nombreux critères, comme :

- ✓ la taille du chantier (volume de béton) ;
- ✓ la durée du chantier (durée montage et démontage BFC),
- ✓ la localisation du chantier : proximité d'une centrale BPE (< 50 km) et durée de livraison ; facilité d'approvisionnement des constituants pour le BFC ;
- ✓ l'espace disponible sur le chantier : pour du BFC, espace disponible ≈ 200 à 400 m<sup>2</sup> avec la contrainte de positionner le malaxeur sous l'emprise de(s) grue(s) ;
- ✓ la production journalière de béton (courante et exceptionnelle),
- ✓ les différents types de bétons imposés : différentes compositions (granulats, liant, adjuvants, colorants) ;
- ✓ caractéristiques de la grue (charge maxi et emplacement, degré de saturation) ;
- ✓ les disponibilités de matériels (parc entreprise et location).

### **VI.1.1 Le Béton Prêt à l'Emploi (BPE)**

On distingue deux types de BPE :

- ✓ les Bétons à Caractères Normalisés (BCN) qui sont désignés à la commande par des caractères garantis (consistance, résistance garantie, caractères supplémentaires imposés par le client) ; mais le producteur conserve l'initiative de la composition dans les limites fixées par la norme NF P-18-305 ;
- ✓ les Bétons à Caractères Spécifiés (BCS) dont l'ensemble des critères sont définis par le client. Le coût des BPE est négocié avec la centrale à béton, il dépend du type de béton, de la quantité livrée, des « relations » client / centrale BPE.

### **VI.1.2 Le Béton Fabriqué sur Chantier (BFC)**

Le coût des BFC dépend de plusieurs éléments :

- ✓ les frais fixes : coûts d'installation et de repliement, coût du radier support ;
- ✓ les frais variables en fonction du temps : frais d'amortissement ou de location, entretien, déboursés secs main d'œuvre de l'opérateur, consommation électrique ;
- ✓ les frais variables en fonction du béton fabriqué.

Afin de contrôler la fabrication sur tous ces aspects une étude du coût d'opération concernant la fabrication du béton et sa mise en place sur le site d'Essakane est proposée dans cette partie.

## **VI.2 Étude du coût des opérations de bétonnage d'IMAGOLD site d'Essakane**

On vise à travers cette étude l'optimisation du coût de production et de la mise en œuvre du béton sur le site d'Essakane dans le cadre de ce projet d'extension. Pour cette étude on a procédé de la façon suivante :

- ✓ Définir les hypothèses de calculs;
- ✓ Identifier et évaluer les différents postes de dépenses et
- ✓ Une enquête a été réalisée sur site auprès des différents responsables de chantiers.

Les résultats obtenus ont permis de faire ressortir le coût de revient au m<sup>3</sup> du béton (à la centrale et y compris la mise œuvre).

### VI.2.1 Hypothèses de calcul

Le tableau ci-dessous montre la synthèse des hypothèses émises dans le cadre de cette étude; les données complémentaires sont présentées dans le tableau 12 et à l'annexe 6.

**Tableau 12 : Hypothèses**

HYPOTHESES DE CALCUL	
Quantité de béton totale m <sup>3</sup>	18 003,00
Durée du gros-œuvre (jour)	330,00
Heures de fonctionnent par jour	12,00
Consommation électrique KWh	18,40
Nombre de Centrale	1,00
PARAMETRES DIVERS	
Perte sur les matériaux (%)	1
Litres d'eau de lavage par jour	720

### VI.2.2 Évaluation des différents postes de dépenses

On distingue cinq postes de dépenses :

- ✓ Le matériel de fabrication;
- ✓ Les matériaux;
- ✓ La main d'œuvre;
- ✓ La mise en œuvre du béton sur chantier (coffrage, arpentage, armature et mise en place du béton) et
- ✓ Les différentes consommations et prestations externes.

Les estimatifs des différents postes de dépenses sont présentés à travers les tableaux ci-dessous.

**Tableau 13: Récapitulatif prix du béton (partie mise en œuvre)**

<b>Prix du béton - Projet Essakane Phase 2 (USD et XOF/m³)</b>								
<b>Composantes</b>	<b>Quantité</b>		<b>Coût</b>				<b>Sous total \$</b>	<b>Sous total %</b>
	<i>Mesure</i>	<i>Unité</i>	<i>Tarif</i>	<i>Unité</i>	<i>Total</i>	<i>%</i>		
<b><i>Coffrage</i></b>							99,36	58,11%
Main-d'œuvre	12,94	man/hour	5,38	\$/manhr	69,60	12,41%		
Matériel	1,00	unités	29,76	\$	29,76	5,31%		
<b><i>Arpentage</i></b>								
Main-d'œuvre	2,81	man/hour	14,56	\$/manhr	40,95	7,30%	41,95	
Matériel	1,00	unités	1,00	\$	1,00	0,18%		
<b><i>Armature</i></b>								
Main d'œuvre	5,61	man/hour	7,14	\$/manhr	40,02	7,13%	167,2	
Matériel	115,00	kg	1,11	\$/kg	127,17	22,67%		
<b><i>Mise en place du béton</i></b>								
Main d'œuvre	2,30	man/hour	6,36	\$/manhr	14,63	2,61%	17,4	
Outillage général	1,00	unité	2,78	\$	2,78	0,50%		

**Tableau 14: Récapitulatif prix du béton suite (partie fabrication à la centrale)**

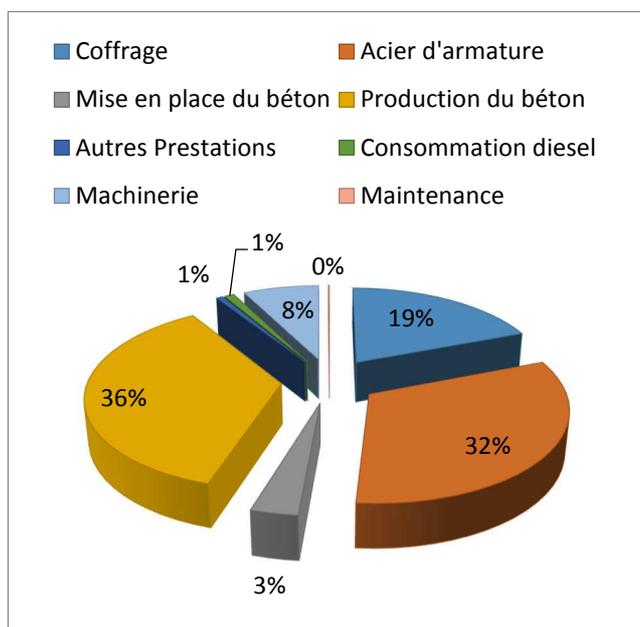
<i>Production du béton</i>							
Main d'œuvre	1,87	man/hour	3,85	\$/h	7,19	1,28%	187,9
Ciment	350	kg	0,37	\$/kg	127,94	22,81%	
Granulats	1,00	m3	34,34	\$	34,34	6,12%	
Sable	0,60	m3	8,99	\$	5,40	0,96%	
Eau	0,27	m3	2,62	\$	0,71	0,13%	
Electricité	2,30	KWh	0,31	\$	0,72	0,13%	
Adjuvants	1,00	litres	11,61	\$/L	11,61	2,07%	
<i>Autres Prestations</i>							
Essais de compression	0,32	qté	9,66	\$	3,09	0,55%	3,30
Etudes BA et autres	1,00	u	0,21	\$	0,21	0,04%	
<i>Consommation diesel</i>							
Pick up, chargeuse & camions toupie	3,56	litres	1,40	\$/litres	4,99	0,89%	5,0
<i>Maintenance</i>							
Usine à béton	1,00	unité	0,55	\$	0,55	0,10%	0,6
<i>Machinerie</i>							
Chargeuse 966 location	1,00	unité	11,32	\$	11,32	2,02%	38,2
camion toupie - Location (3)	3,00	unité	4,40	\$	13,20	2,35%	
Pick up- Location	1,00	unité	1,63	\$	1,63	0,29%	
Location Manitou	1,00	unité	4,15	\$	4,15	0,74%	
Usine à béton	1,00	unité	7,94	\$	7,94	1,42%	
<b>Coût du béton à la sortie de la centrale (USD/m<sup>3</sup>)</b>					<b>\$ 234,98</b>	<b>116 808,48 XOF</b>	
<b>Coût du béton (USD/m<sup>3</sup>)</b>					<b>\$ 560,90</b>		
<i>Quantité de béton (m3)</i>					<i>18000</i>		
<b>Coût du béton (XOF/m<sup>3</sup>)</b>					<b>278 818,43 XOF</b>		
<i>Coût total de Fabrication béton XOF</i>					<b>2 102 552 613,93</b>		
<b>Coût total y compris bétonnage</b>					<b>5 018 731 796,70</b>		

## VI.1 Synthèse des différents coûts

Les tableaux 15 et 16 et figures 20 et 21 ci-dessous donnent le récapitulatif des coûts par poste de dépense.

**Tableau 15 : Récapitulatif fabrication et mise en œuvre béton**

<b>Coffrage</b>	\$ 99,36	<b>19,15%</b>
<b>Acier</b>	\$ 167,2	<b>32,22%</b>
<b>Mise en place du béton</b>	\$ 17,4	3,36%
<b>Production du béton</b>	\$187,9	<b>36,21%</b>
<b>Autres Prestations</b>	\$ 3,30	0,64%
<b>Consommation diesel</b>	\$ 5,0	0,96%
<b>Machinerie</b>	\$ 38,2	7,37%
<b>Maintenance</b>	\$ 0,6	0,11%
<b>TOTAL</b>	<b>518,95</b>	<b>\$/m<sup>3</sup></b>

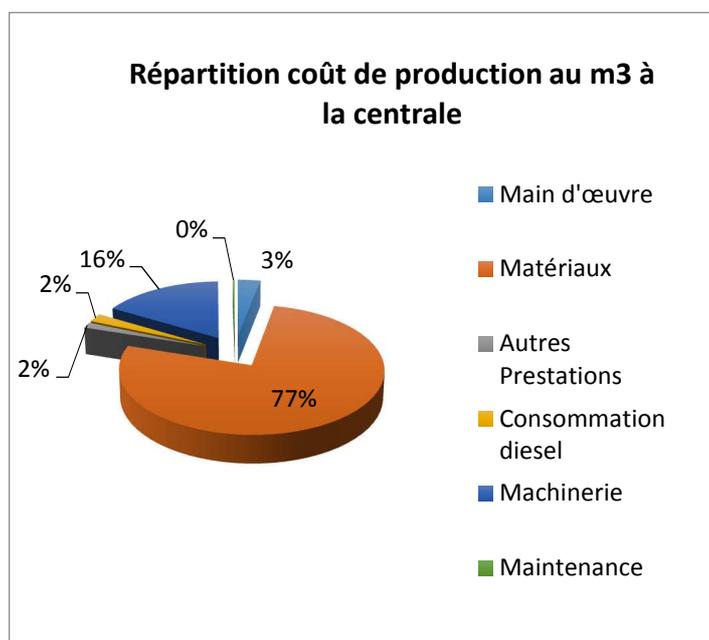


**Figure 16 : Répartition du coût de fabrication du béton et de sa mise œuvre**

**Tableau 16 : Fabrication béton**

### Centrale IAMGOLD Essakane

Fabrication béton usine IAMGOLD Essakane		
<b>Main d'œuvre</b>	\$ 7,19	3,06%
<b>Matériaux</b>	\$180,71	<b>76,90%</b>
<b>Autres Prestations</b>	\$ 3,30	1,41%
<b>Consommation diesel</b>	\$ 4,99	<b>2,12%</b>
<b>Machinerie</b>	\$ 38,25	<b>16,28%</b>
<b>Maintenance</b>	\$ 0,55	0,23%
<b>TOTAL</b>	<b>234,98</b>	<b>\$/m<sup>3</sup></b>



**Figure 17 : Répartition du coût de production au m<sup>3</sup> à la centrale à béton**

Il en ressort de cette étude :

- ✓ Un estimatif total du coût total de fabrication du béton à la centrale d'IAMGOLD Essakane S.A de **2 102 552 613,93 XOF** pour ce projet soit un prix de revient de **116 808,48 XOF** ;
- ✓ Les matériaux représentent 77% du coût de fabrication et
- ✓ Le coût global du bétonnage est de **5 018 731 796,70 XOF** (la fabrication à la centrale représente 36% du coût global et l'armature du béton du béton 32%).

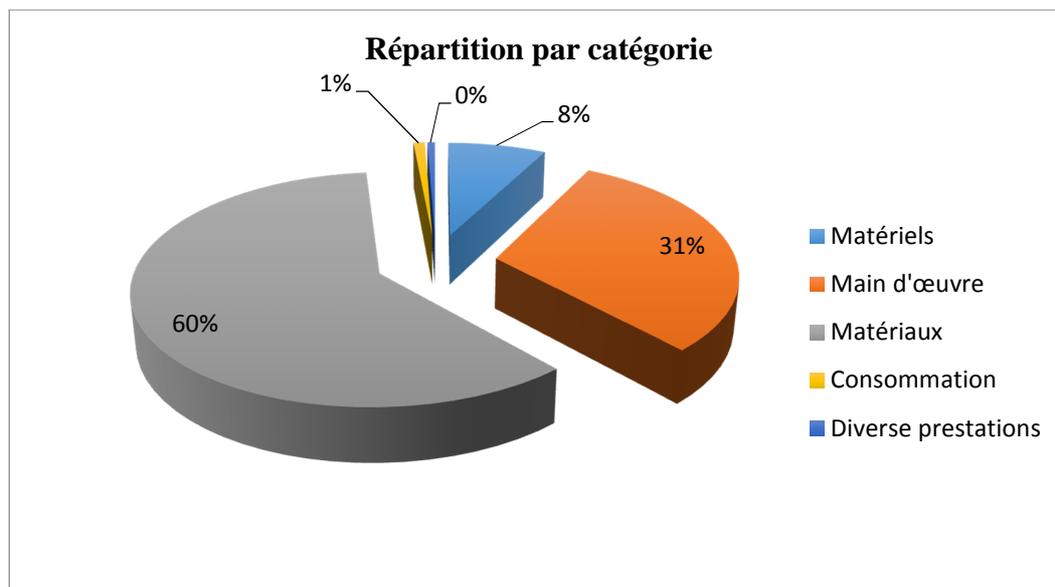
Afin de mieux apprécier la variation des coûts un récapitulatif par poste de dépense est présenté à travers le tableau 17 et figure 22 ci-dessous.

Le tableau 17 et la figure 22 montrent que :

- ✓ Les matériaux représentent 60% du coût global tandis que,
- ✓ Les matériels 8% et
- ✓ La main d'œuvre 31%.

**Tableau 17: Récapitulatif coût global bétonnage par poste de dépense**

<b>Postes de dépense</b>	<b>%</b>	<b>Montant</b>
Matériels	<b>7,59%</b>	380 932 136,82 XOF
Main d'œuvre	<b>30,74%</b>	1 542 524 329,28 XOF
Matériaux	<b>60,20%</b>	3 021 054 479,67 XOF
Consommation	0,89%	44 672 770,93 XOF
Diverse prestations	0,59%	29 548 080,00 XOF
<b>TOTAL</b>		<b>5 018 731 796,70 XOF</b>



**Figure 18: Répartition par catégorie**

## Conclusions

Cette étude avait pour but de contribuer à l'amélioration continue de la fabrication du béton sur site et traite particulièrement le cas de la centrale à béton d'Essakane. Pour ce faire on a d'abord traité l'analyse des données de fabrication ; ensuite réalisé une étude de vérification de la formule en cours d'utilisation suite au changement de fournisseur d'agrégats ( sable ) intervenu au cours de la phase des travaux et en fin une étude du coût de fabrication total du béton destiné aux travaux dans le cadre de ce projet. A l'issu de cette étude on peut dresser la liste des conclusions suivantes :

Les résultats des essais de caractérisation des matériaux utilisés montrent que les granulats 5/15 et 15/25 avec un coefficient de LA respectivement de 41 et 36 sont conformes aux exigences en matière de granulats destinés à la confection de béton de qualité ( $LA > 30\%$ ) ; le ciment utilisé CM I 32.5 est conforme aux normes tout comme la qualité de l'eau de gâchage, l'étude statistique de la variation de la teneur en eau des agrégats utilisés montre une teneur en eau moyenne de 1% pour le sable 0/5 et 0.05% pour les concassés G 5/15 et G 15/25 donc une teneur en eau presque négligeable, par contre les résultats du granulats 0/5 ( sable de rivière ) utilisés pour la fabrication du béton donnent  $E_{sv} = 29.5\% < 60\%$  (limites admissibles pour sable destiné à la fabrication de béton de qualité courante) et  $M_f = 18.3 < 2.2$  ce qui est hors de l'intervalle d'un bon sable à béton ( $2. \leq M_f \leq 2.8$ ), tout ceci conduit à un sable limoneux avec une proportion importante de fine.

L'analyse de la production du béton montre deux phases de production la période du Fév-2012 à Oct-2012 avec une production moyenne mensuelle de 554 m<sup>3</sup> de béton et du Nov-2013 à Avr-2013 (période couvrant la fin de l'étude) une production moyenne mensuelle de 2130 m<sup>3</sup> de béton ce qui s'explique par le rythme d'évolution des travaux. L'étude statistique des résultats d'écrasement du béton donne une résistance moyenne à la compression (33MPa) ce qui est supérieur à la résistance moyenne imposée par le cahier des charges (30MPa) dans le cadre de ce projet avec un écart type variant de 0.6 à 0.7 ce qui est un peu élevé ; tant dis que les affaissements obtenus varient de 70mm à 150mm ( état plastique à très plastique) ce qui s'explique d'une part la qualité du sable utilisé et à la difficulté de maîtrise des dosages en eau des BFC car aucun protocole de calibrage efficace dans le contexte de la fabrication industrielle n'est connu jusqu'à présent.

La caractérisation des matériaux de fabrication du béton et la vérification de la formule encours d'utilisation a permis de confirmer les différents dosages en agrégat pour  $1\text{m}^3$  de béton ( $S_{0/5} = 680\text{Kg}$  et  $G_{15/25} = 1275\text{Kg}$ ) mais toute fois le dosage en ciment devrai passé de 350Kg à 400Kg pour  $1\text{m}^3$  de béton.

Il est évident que dans le cadre de ce projet comme mentionné plus haut, le choix du BFC était le plus adapté pour ce projet d'extension de la mine Essakane toute fois l'étude du coût des opérations de bétonnages montre que le coût des **matériaux** représentent plus de **60%** ( **3 021 054 479,67 XOF**) du coût total des opérations de bétonnage ; la **main d'œuvre 30.74%** ( **1 542 524 329,28 XOF**) alors le **matériel** ne représente que **7.59%** de ce coût. (**2 260 092 641,32 XOF**) tandis que les différentes **consommations** et prestation réuni valent moins de **1.5%**.

## Recommandations et perspectives

En vue s'inscrire dans la politique de l'amélioration continue de la fabrication du béton, il va falloir : augmenter le dosage en ciment du béton, fabriquer les bétons de type plastique ( $50\text{mm} \leq A \leq 90\text{mm}$  réduire le dosage en eau en optant pour utilisation fréquente du plasti retard tout en restant dans la marge tolérée ) en faisant un suivi hebdomadaire des teneurs en eau des granulats utilisés, certes l'étude statistique réalisée sur les agrégats montre une teneur en eau presque nulle de 1.15% pour le sable et 0.06% pour le granite concassé ce qui s'explique par le climat qui régnait lors de la période de l'étude mais ces valeurs devront considérablement évoluées à partir du mois de mai (début de la saison pluvieuse dans le sahel) .

Faire des tests contradictoires pour s'assurer des valeurs obtenues par le contrôle interne car les valeurs obtenus dans le cadre de cette étude sont un plus élevées en tenant compte de dosage encours et de la qualité du sable utilisé.

Rechercher une nouvelle carrière de sable répondant aux normes exigées pour la fabrication de béton de qualité courante ; améliorer le suivi des bétons livrés par la centrale, par la mise en place d'un bordereau de livraison de béton sur les chantiers, à titre d'exemple un modèle est proposé à l'annexe6 ; mettre en place une politique de bonne gestion des matériaux afin de limiter les pertes au maximum car ces dernières représentent plus de 60% du coût global des opérations de bétonnages ;

Mettre en place une politique de gestion rationnelle de la main d'œuvre afin d'optimiser sur ce coût, établir un planning de maintenance du matériel de production et faire un suivi régulier des données de productions (relevée de production, fiches d'écrasement, bordereaux de livraison, les résultats des essais contradictoires) à fin de pouvoir détecter le plus rapidement possible les éventuelles non conformités.

Cette étude révèle toute l'importance du suivi des de la production des bétons afin d'améliorer la qualité des bétons et de maîtriser les coûts d'opération.

## Références bibliographiques

- Brachet M., Ray M. et Charbonnat Y., 1976, « Vers un contrôle de qualité non conventionnel des bétons hydrauliques », Annales ITBTP, N°336 de février
- Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux, Mai 2012, Fascicule No 65, Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint.
- Charbonnat Y. et Tricart Y., 1970, « Enregistrement des paramètres de fabrication sur les centrales à béton », Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, N° 76 de novembre
- CIMbéton, 2006, « Norme béton NF EN 206-1 », Commentaire et texte
- Durieux J., 1968, « Les centrales de béton routier. Contrôle en cours de fabrication et contrôles a posteriori », Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées, N° 76 de mars.
- Dreux, G. et Gorisse, F. 1983. Composition des bétons : méthode Dreux Gorisse, bilan de cinq années d'application en Côte d'Ivoire. Annales de l'Institut technique du bâtiment et des Travaux publics, no.414, Paris, Mai.
- Guide pratique du béton Holcim (Suisse) SA, 2009 Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables, Marketing et Support Technique 5e édition 2009.
- Lesage, R. 1974. Etude expérimentale de la mise en place du béton frais. Rapport de recherche LCPC No37, Paris, Juin.
- Ngoc-Dong LE. (Mai 2007), Amélioration de la régularité du béton en production, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Nantes.
- S.M.A Boukli Hacene et Al. 2009 «Etude expérimentale et statistique de l'influence de l'affaissement et de l'air occlus sur la résistance à la compression des bétons » Lebanese Science Journal, Vol. 10, N0. 2.
- Sylvie GERÖMEY (2003), Evaluation des paramètres d'obtention de la qualité des bétons projetés utilisés dans des soutènements provisoires, des revêtements définitifs et des renforcements d'ouvrages, Thèse de doctorat de L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

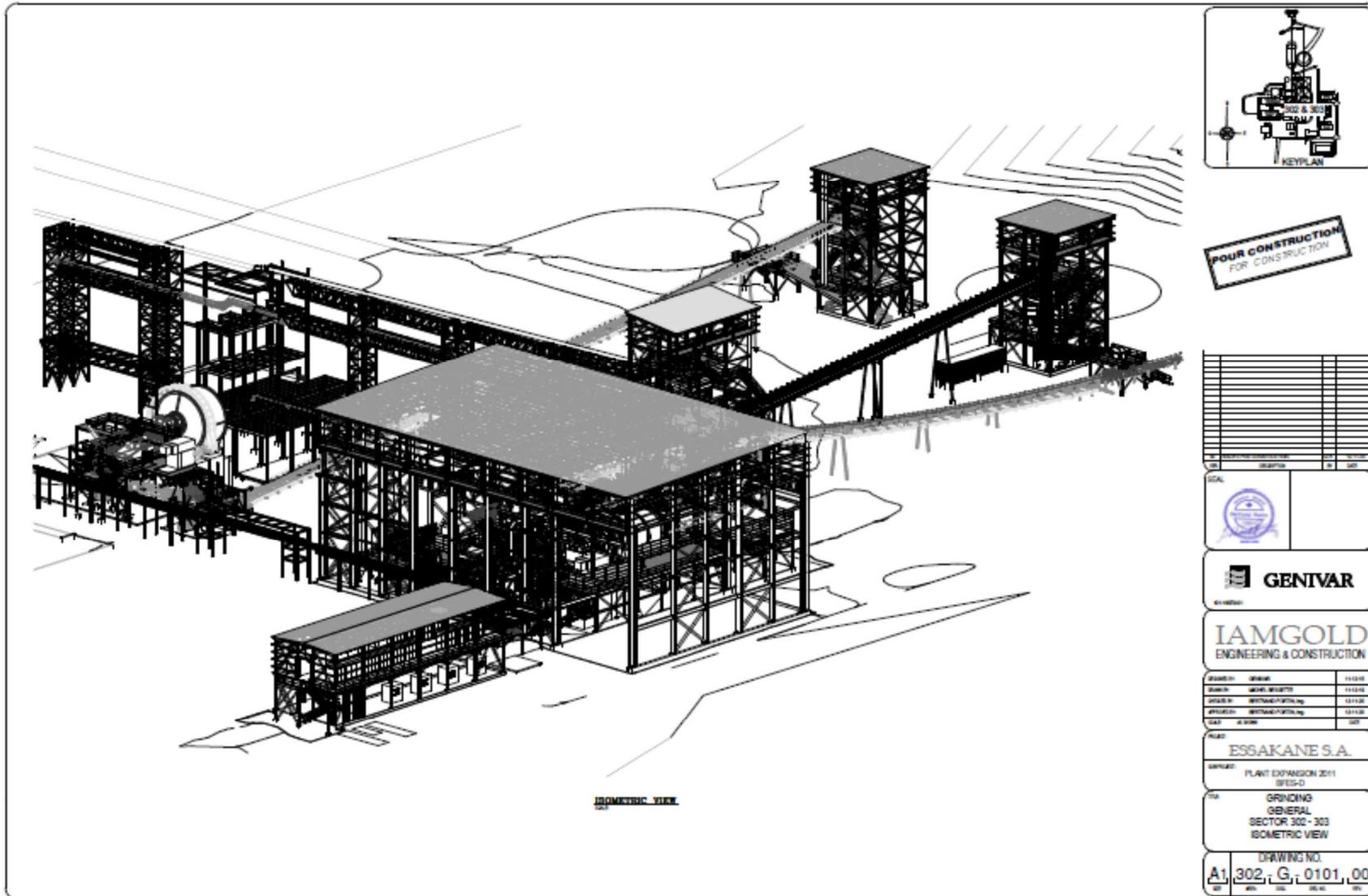
## ANNEXES

ANNEXE 1 : PRESENTATION DU PROJET.....	III
ANNEXE 2 : FABRICATION DE BÉTON.....	VII
ANNEXE 3 : MATÉRIELS DE FABRICATION.....	XIII
ANNEXE 4 : DONNÉES DE FABRICATION DE LA CENTRALE.....	XV
ANNEXE 5 : ETUDE DE FORMULATION.....	XXVIII
ANNEXE 6 : COÛT D'OPÉRATION.....	XXX

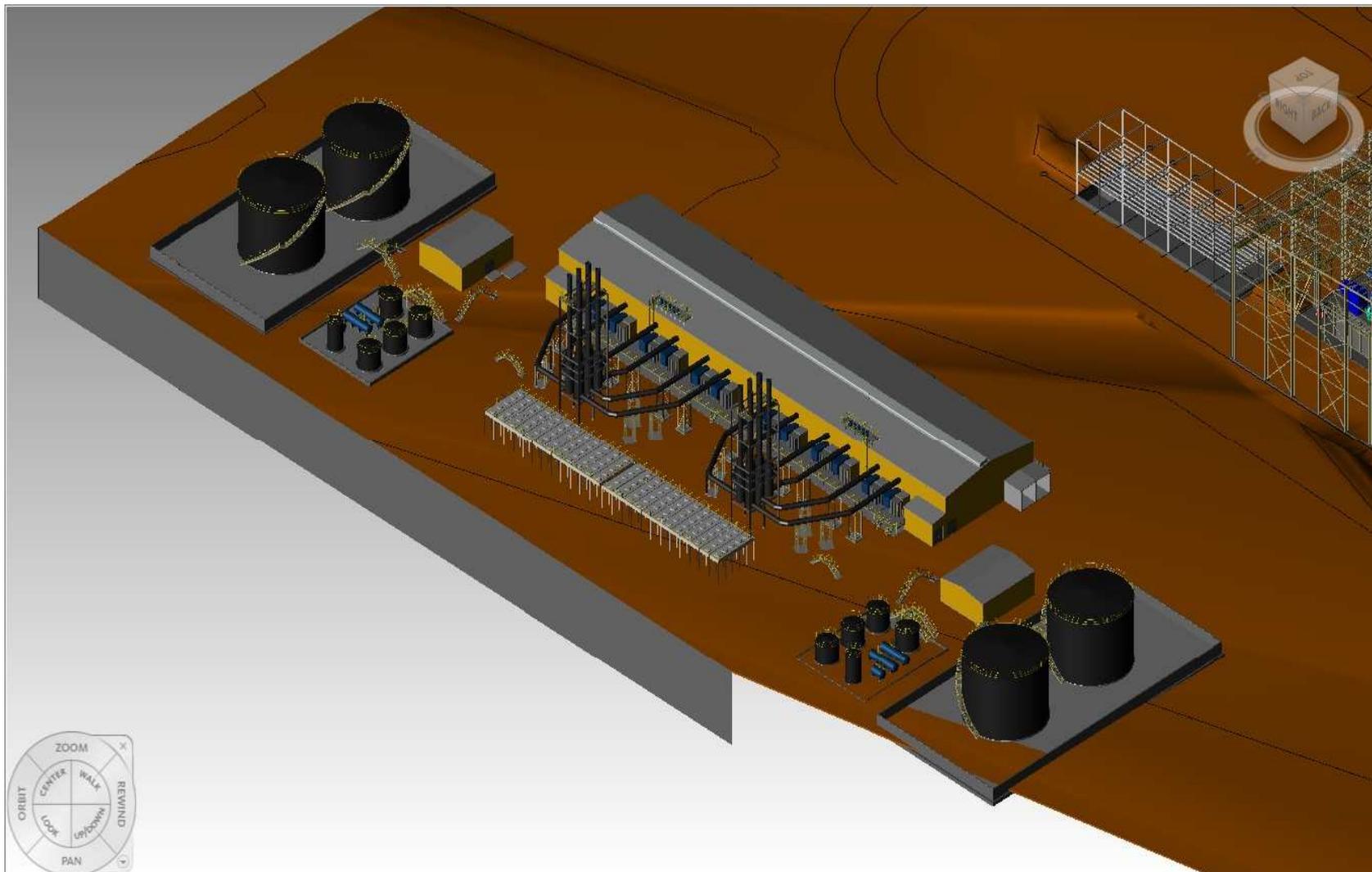
## **ANNEXE 1 : PRESENTATION DU PROJET**



**ANNEXE 1-B : VUE EN 3D D'UNE SALLE DE MOTEUR ELECTRIQUE**



**ANNEXE 1-C : VUE EN 3D DU SITE (CENTRALE ELECTRIQUE)**



## **ANNEXE 2 : FABRICATION DE BÉTON**

**ANNEXE 2-A : AFFAISSEMENT AU CONE CONSEILLE EN FONCTION DU TYPE D'OUVRAGE A REALISER.**

Affaissement en cm	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons extrudés Béton de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil Ouvrage d'art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrages courants
>16	Fluide	Fl	Léger	Fondations profondes

**ANNEXE 2-B : COEFFICIENT GRANULAIRE G EN FONCTION DE LA QUALITE ET DE LA TAILLE MAXIMALE DES GRANULATS D<sub>MAX</sub>.**

Qualité des granulats	Dimension D <sub>max</sub> des granulats		
	Fins	Moyens	Gros
	D <sub>max</sub> < 12,5 mm	20 < D <sub>max</sub> < 31,5	D <sub>max</sub> > 50 mm
Excellente	0,55	0,6	0,65
Bonne, courante	0,45	0,5	0,55
Passable	0,35	0,4	0,45

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

**ANNEXE 2-C : CORRECTION SUR LE DOSAGE DE PATE EN FONCTION DE  
D<sub>MAX</sub>.**

Dimension maximale des granulats (D <sub>max</sub> 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

**ANNEXE 2-D : K, FONCTION DE LA FORME DES GRANULATS, DU MODE DE VIBRATION ET DU DOSAGE EN CIMENT.**

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + Fluid	-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

## ANNEXE 2-E : COMPACITE DU BETON EN FONCTION DE $D_{MAX}$ , DE LA CONSISTANCE ET DU SERRAGE

Consistance	Serrage	compacité ( $c_0$ ) en fonction de $D_{max}$						
		5	8	12,5	20	31,5	50	80
Molle (TP-FI)	Piquage	0,75	0,78	0,795	0,805	0,81	0,815	0,82
	Vibration faible	0,755	0,785	0,8	0,81	0,815	0,82	0,825
	Vibration normale	0,76	0,79	0,805	0,815	0,82	0,825	0,83
Plastique (P)	Piquage	0,76	0,79	0,805	0,815	0,82	0,825	0,83
	Vibration faible	0,765	0,795	0,81	0,82	0,825	0,83	0,835
	Vibration normale	0,77	0,8	0,815	0,825	0,83	0,835	0,84
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,82	0,83	0,835	0,84	0,845
Ferme (F)	Vibration faible	0,775	0,805	0,82	0,83	0,835	0,84	0,845
	Vibration normale	0,78	0,81	0,825	0,835	0,84	0,845	0,85
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,83	0,84	0,845	0,85	0,855

Nota :

\* Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

Sable roulé et gravier concassé ( $c_1 = - 0,01$ )

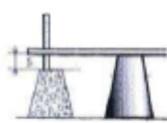
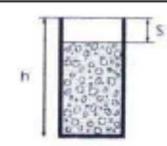
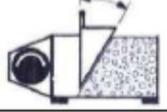
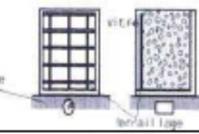
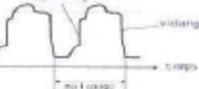
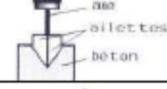
Sable et gravier concassé ( $c_1 = - 0,03$ )

\* Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de  $c$  : ( $c_2 = -0.03$ )

\* Pour un dosage en ciment  $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$  on apportera le terme correctif suivant :

$$(c_3 = (C - 350) / 5000)$$

## ANNEXE 2-F : AUTRES ESSAIS SUR BETON

essais	principe	paramètre mesuré	schéma	plages recommandées de mesures	commentaires
<b>Essai d'affaissement</b>  NFP 18-451 prEN 12350-2	Moulage d'un tronc de cône de dimensions normalisés et mesure après démoulage de son affaissement.	Affaissement  (S)		$20 \leq S \leq 160 \text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mal adapté aux bétons fermes ou fluides</li> <li>• <math>D_{\text{max}} &lt; 40 \text{ mm}</math></li> <li>• répétabilité juste suffisante</li> </ul>
<b>Essai d'étalement</b>  prEN 12350-5	Démoulage d'un cône sur une table à chocs manuels et mesure de l'étalement.	Diamètre d'étalement  (F)		$340 \leq F \leq 360 \text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mal adapté aux bétons fermes ou très fluides</li> <li>• <math>D_{\text{max}} &lt; 40 \text{ mm}</math></li> <li>• répétabilité juste suffisante</li> </ul>
<b>Degré de compactabilité</b>  prEN 12350-4	Evaluation du degré de compactabilité exprimé par le rapport entre un volume de béton avant et après compactage.	Taux (C) $C = \frac{h_1}{h_1 - S}$ $h_1 = 400 \text{ mm}$		$C \geq 1.11$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mal adapté aux bétons fluides</li> <li>• <math>D_{\text{max}} &lt; 40 \text{ mm}</math></li> </ul>
<b>Essai Vêbé</b>  prEN 12350-5	Mesure du temps mis par un cône de béton frais pour se remouler dans un moule cylindrique sous l'action d'une vibration	durée  (t)		$5 \leq t \leq 30 \text{ s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mal adapté aux bétons fluides</li> <li>• <math>D_{\text{max}} &lt; 40 \text{ mm}</math></li> </ul>
<b>Essai d'écoulement (maniabilimètre)</b>  NFP 18-452	Mesure du temps d'écoulement sous vibration	durée  (t)		$4 \leq t \leq 100 \text{ s}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• non adapté aux bétons fluides</li> <li>• <math>D_{\text{max}} &lt; 40 \text{ mm}</math></li> <li>• bonne répétabilité</li> </ul>
<b>Test C.E.S</b>  G. Dreux	Remplissage de béton dans un moule muni d'un quadrillage d'armatures distant d'une plaque transparente. Mesure du nombre de chocs nécessaires à recouvrir la vitre.	choc  (N)			<ul style="list-style-type: none"> <li>• peu utilisé sauf au Centre d'Essais des Structures (CSTB)</li> </ul>
<b>Wattmètre</b>	Appréciation de la constance par enregistrement de la puissance absorbée du malaxeur.	puissance  (Watt)			<ul style="list-style-type: none"> <li>• sur certaines installations industrielles</li> </ul>
<b>Plasticimètre à rotations</b>	Evaluation de la résistance au cisaillement d'un béton par la mesure d'un couple.	viscosité			<ul style="list-style-type: none"> <li>• peu utilisé car très mauvaise répétabilité</li> </ul>
<b>BT Rhéom</b>  LCPC (F. de Larrard)	Cisaillement d'un échantillon de béton pour diverses vitesses de rotation, sous l'action d'une vibration ou non. Contrôle de l'essai et exploitation des mesures via une centrale d'acquisition	seuil de cisaillement et viscosité			<ul style="list-style-type: none"> <li>• bien adapté aux bétons fluides</li> <li>• <math>D_{\text{max}} &lt; 25 \text{ mm}</math></li> <li>• essai d'avenir ...</li> </ul>

## ANNEXE 2-G : LES TOLERANCES PAR CONSTITUANT SUR CHAQUE GACHEE SONT LES SUIVANTES

(Article 3 : Dosage des constituants de l'ANNEXE CONTRACTUELLE du fascicule 65)

	Pour 90% des gâchées	Pour 100% des gâchées
Ciment	+/- 2%	+/- 4%
Eau pesée	+/- 2%	+/- 4%
Adjuvant	-	+/- 5%
Addition + ciment	+/- 2%	+/- 4%
Ensemble des granulats	+/- 2%	+/- 4%
Gravillon (sauf intermédiaire) (***)	+/- 2%	+/- 4%
Sable (sauf correcteur) (***) *	+/- 2%	+/- 4%
Gravillon intermédiaire	+/- 10%	+/- 20%
Sable correcteur	+/- 10%	+/- 20%

- ❖ \*\* Les tolérances sont plus strictes que celles prévues au règlement particulier de la marque NF-BPE
- ❖ \*\*\* Un gravillon est dit intermédiaire lorsque sa masse ne dépasse pas 15% de celle de l'ensemble des gravillons.
- ❖ \*\*\* \* Un sable est dit correcteur lorsque sa masse ne dépasse pas 15% de celle de l'ensemble des sables

### **ANNEXE 3 : MATÉRIELS DE FABRICATION**

### ANNEXE 3-A : CARACTERISTIQUES TECHNIQUE CENTRALE A BETON ESSAKANE

<b>Modello - Model - Modèle</b>	<b>UM</b>	<b>Micro Beton 30/1</b>	<b>Micro Beton 30/2</b>
Produzione oraria teorica <i>Hourly output rate, theoretical</i> <i>Production horaire théorique</i>	m3/h	30	30
Max produzione per ciclo <i>Max yield for batch</i> <i>Production maximale par cycle</i>	m3	10	10
Stoccaggio inerti <i>Aggregate storage</i> <i>Stockage des granulats</i>	m3	10	10
Classi inerti <i>Aggregate bins</i> <i>Classes des granulats</i>	n°	1	2
Larghezza nastro elevatore <i>Elevating belt width</i> <i>Largeur du tapis élévateur</i>	mm	600	600
Codlee dosaggio cemento <i>Screw conveyors for cement batching</i> <i>Vis de dosage du ciment</i>	mm	273	273
Bilancia inerti <i>Aggregate weighing scale</i> <i>Bascule des granulats</i>	Kg	30.000	30.000
Bilancia cemento <i>Cement weighing scale</i> <i>Bascule du ciment</i>	Kg	3.000	3.000
Tensione / Frequenza quadro comandi <i>Control board supply voltage / frequency</i> <i>Tension / fréquence du tableau électrique</i>	volt/hz	400/50	400/50
Potenza assorbita c.a. <i>A. C. absorbed power</i> <i>Puissance absorbée c.a.</i>	hp/kw	21/16	21/16
Silos Cemento <i>Cement Silo</i> <i>Silo du ciment</i>	N°	1-2	1-2

## **ANNEXE 4 : DONNÉES DE FABRICATION DE LA CENTRALE**

## ANNEXE 4-A : COMPOSITION DU CIMENT (DONNEES DU FOURNISSEUR CIMTOGO)

### General average mineralogical composition of cements

CPA - 45 equivalent to CEM I 32.5 :	CPJ -35 équivalent to CEM II
SiO <sub>2</sub> = 20.84 %	SiO <sub>2</sub> = 18.02%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 5.60 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 4.85%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 3.20 %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 3.14%
CaO = 64.1 %	CaO = 60.54%
MgO = 3.0 %	MgO = 3.52%
SO <sub>3</sub> = 3.10 %	SO <sub>3</sub> = 2.64%
C <sub>3</sub> A < 8.0%	C <sub>3</sub> A < 10%
C <sub>3</sub> S > 56 %	C <sub>3</sub> S > 56%

### GENERAL COMPOSITION : Limestone filler in cement.

CPA-45 ( Clinker > 90%, limestone 3 - 5% et gypsum for SO<sub>3</sub> = 3.10 - 3.40 %)  
 CPJ - 35 ( Clinker > 70%, limestone 20 - 25% et gypsum for SO<sub>3</sub> = 2.4 - 2.8% )

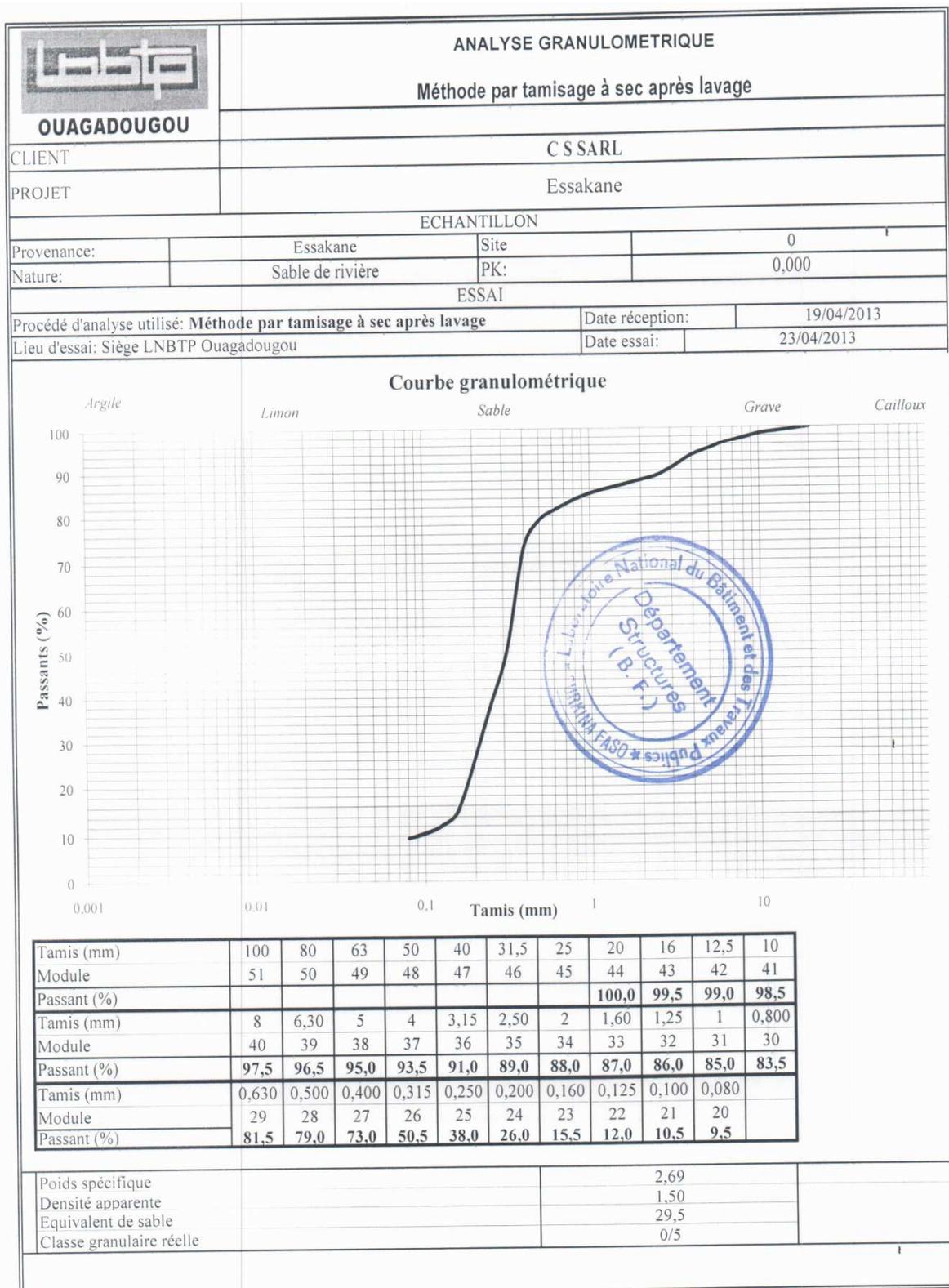
<b>CIMTOGO S.A</b>	<b>Fiche Technique</b>
<b>Ciment Portland</b>	<b>TORO Spécial CPA - 45</b>
Norme AFNOR NF P15-301 de décembre 1981	

		Valeurs caractéristiques conformément au standard	Valeurs caractéristiques Cimtogo
Rupture à la compression en MPa	2 jours	-	<b>16..2</b>
	7 jours	Min 17.5	<b>30.7</b>
	28 jours	Min 35 Max 55	<b>42.8</b>
Exigences chimiques et physiques	SO <sub>3</sub>	Max 3,5%	<b>3,16 %</b>
	Début de prise	Mini 90 min	<b>160 min</b>
	Le Chatelier	Max 10 mm	<b>0.40 mm</b>
	LOI	Max 5%	<b>4.7 %</b>
	MgO	Max 5%	<b>2,39%</b>
	Résidu insoluble	Max 5%	<b>2.32 %</b>
	Chlorures Cl <sup>-</sup>	Max 0.1%	<b>0.05%</b>

Les tests physiques sont réalisés conformément à la norme EN 196

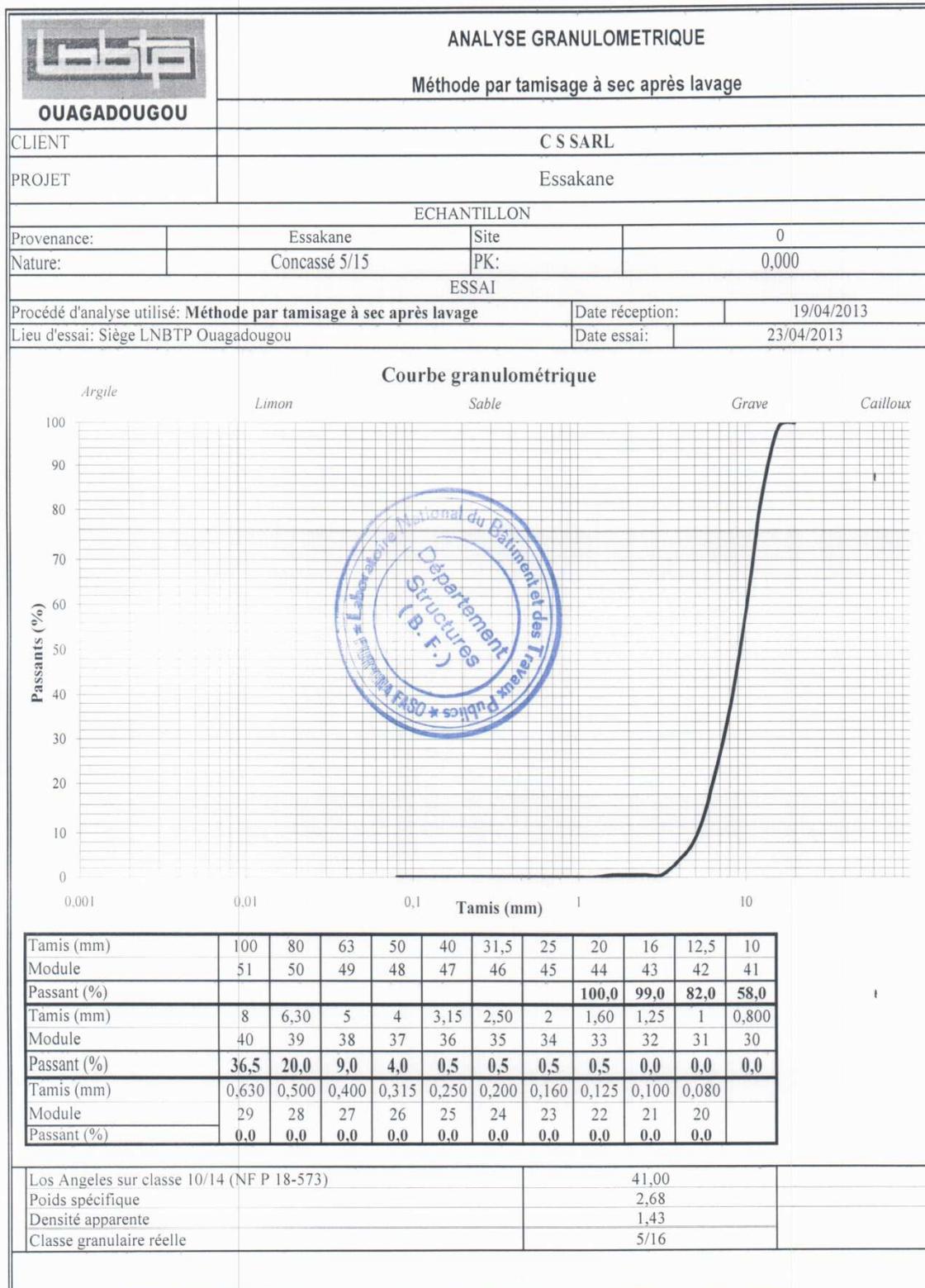
**N.B :** Ce ciment est équivalent au CEM I 32.5

## ANNEXE 4-B: COURBE D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SABLE DE RIVIERE

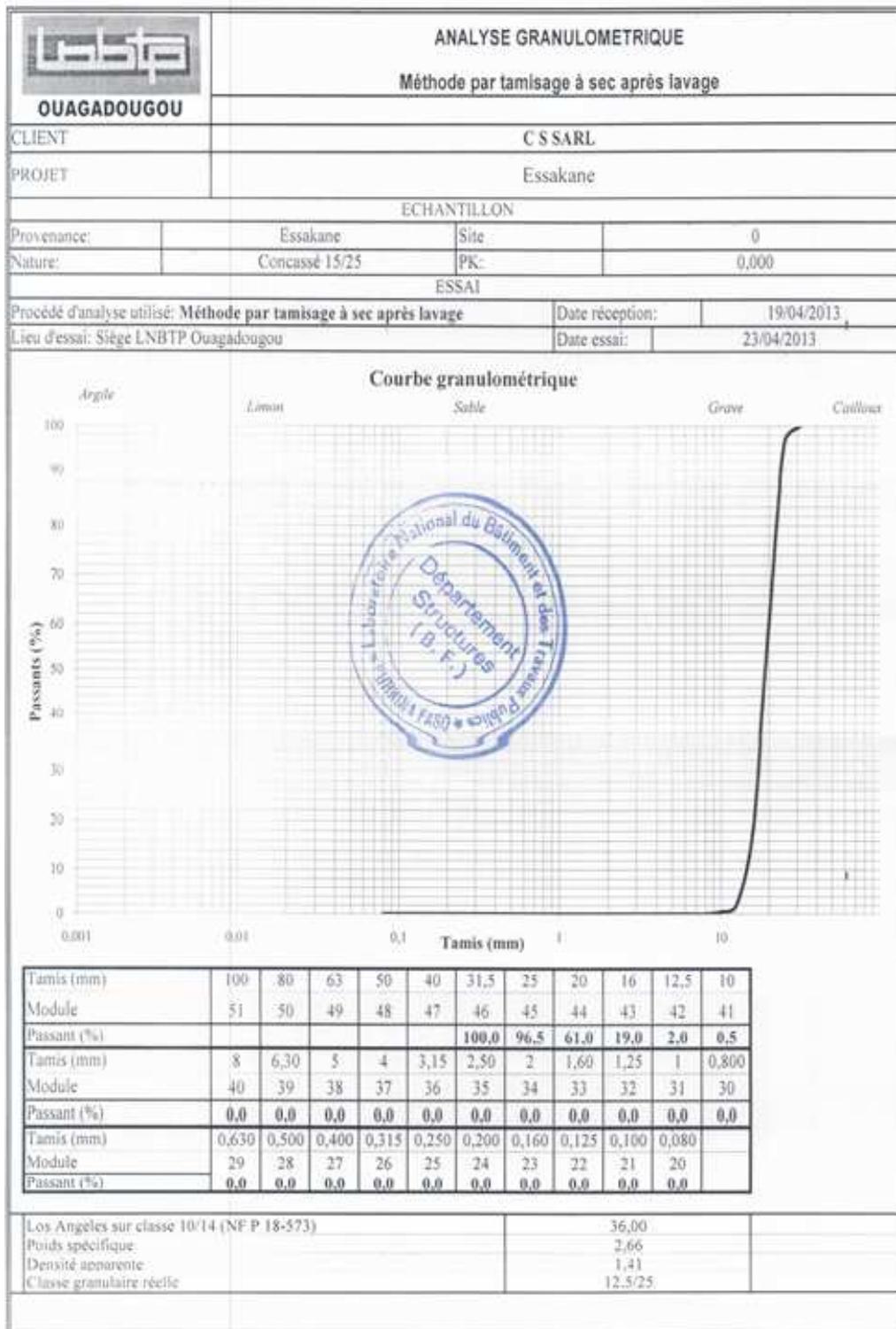


**ANNEXE 4-C : COURBE ANALYSE GRANULOMETRIQUE GRANITE CONCASSE**

5/15



### ANNEXE 4-D : ANALYSE GRANULOMETRIQUE 15/25



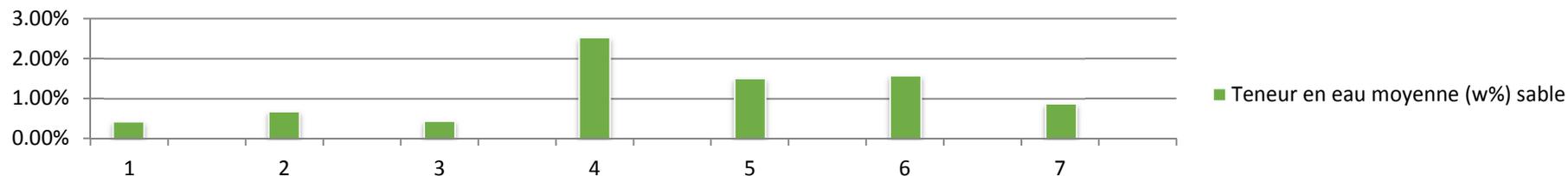
#### **ANNEXE 4-F : INTERPRETATION VALEURS EQUILENT DE SABLE**

<b>ESv &lt; 65</b>	<b>ESp &lt; 60</b>	<b>Sable argileux ; à rejeter pour des bétons de qualité</b>
<b>65 ≤ ESv &lt; 75</b>	<b>60 ≤ ESp &lt; 70</b>	<b>Sable légèrement argileux ; admissible pour des bétons de qualité courante</b>
<b>75 ≤ ESv &lt; 85</b>	<b>70 ≤ ESp &lt; 80</b>	<b>Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses ; convenant parfaitement pour des bétons de qualité.</b>
<b>ESv ≥ 85</b>	<b>ESp ≥ 80</b>	<b>Sable très propre : risque d'un défaut de plasticité du béton</b>

**ANNEXE 4-G: MESURE DE LA TENEUR EN EAU DU SABLE 0/5**

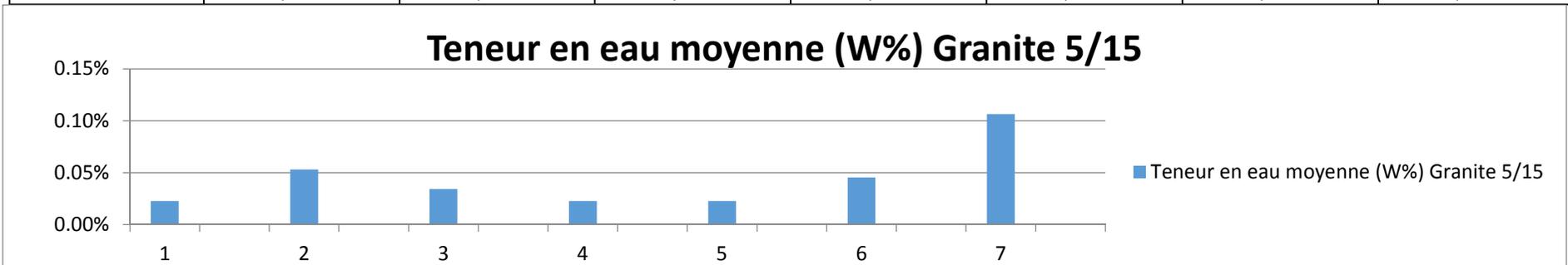
Date	31/03/2013		01/04/2013		02/04/2013		03/04/2013		04/04/2013		05/04/2013		06/04/2013	
Echantillon	Sable													
N° Tare	D8	A3	D8	A3	D8	A3	D8	A3	S6	S11	S6	S11	D8	A3
Poids humide + tare	500,3	500,3	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
poids sec + tare	499	499,1	498	498	498,7	498,7	494,8	490,6	495,5	495,1	494,5	495,8	497,4	497,4
Poids tare	199,3	204,9	199,3	204,9	199,3	204,9	199,3	204,9	195,3	174	195,3	174	199,3	204,9
poids de l'eau	1,3	1,2	2	2	1,3	1,3	5,2	9,4	4,5	4,9	5,5	4,2	2,6	2,6
Poids matériau sec	299,7	294,2	298,7	293,1	299,4	293,8	295,5	285,7	300,2	321,1	299,2	321,8	298,1	292,5
Teneur en eau	0,43%	0,41%	0,67%	0,68%	0,43%	0,44%	1,76%	3,29%	1,50%	1,53%	1,84%	1,31%	0,87%	0,89%
Moyenne teneur en eau	0,42%		0,68%		0,44%		2,52%		1,51%		1,57%		0,88%	

**Teneur en eau moyenne (w%) sable**



**ANNEXE 4-H: MESURE DE LA TENEUR EN EAU DU GRANITE 5/15**

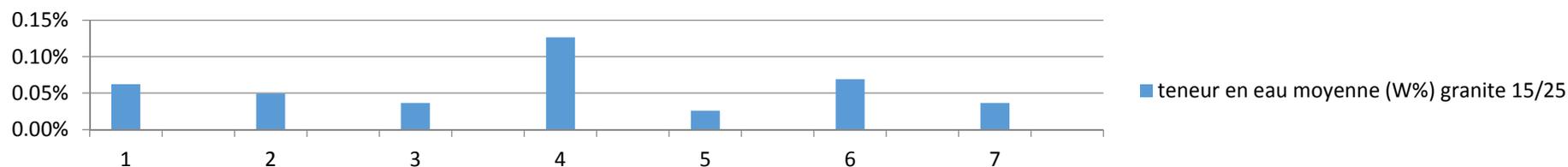
Date	31/03/2013		01/04/2013		02/04/2013		03/04/2013		04/04/2013		05/04/2013		06/04/2013	
Echantillon	Granite 5/15													
N° Tare	S3	S22	S3	S22	S3	S22	S3	S22	S20	S5	S20	S5	S3	S22
Poids humide + tare	1502	1500	1500,3	1500,3	1500	1500,3	1500	1500,3	1500,4	1500,4	1500,1	1500	1500	1500,2
poids sec + tare	1501,5	1499,9	1499,7	1499,5	1499,5	1499,9	1499,9	1499,8	1500,2	1500	1499,8	1499,1	1498,7	1498,7
Poids tare	179,4	188,6	179,4	188,6	179,4	188,6	179,4	188,6	181,1	173,7	181,1	173,7	179,4	188,6
poids de l'eau	0,5	0,1	0,6	0,8	0,5	0,4	0,1	0,5	0,2	0,4	0,3	0,9	1,3	1,5
Poids matériau sec	1322,1	1311,3	1320,3	1310,9	1320,1	1311,3	1320,5	1311,2	1319,1	1326,3	1318,7	1325,4	1319,3	1310,1
Teneur en eau	0,04%	0,01%	0,05%	0,06%	0,04%	0,03%	0,01%	0,04%	0,02%	0,03%	0,02%	0,07%	0,10%	0,11%
Moyenne teneur en eau	0,02%		0,05%		0,03%		0,02%		0,02%		0,05%		0,11%	



**ANNEXE 4-I: MESURE DE LA TENEUR EN EAU DU GRANITE 15/25**

Date	31/03/2013		01/04/2013		02/04/2013		03/04/2013		04/04/2013		05/04/2013		06/04/2013	
Echantillon	Granite 15/25													
N° Tare	103	C6	103	C6	103	C6	103	C6	A2	S2	A2	S2	103	C6
Poids humide + tare	2501,6	2505,5	2500,2	2500,9	2500,7	2500,5	2504,4	2500,5	2501,1	2500,3	2500,5	2500,3	2500,8	2500,7
poids sec + tare	2499,9	2504,3	2499,1	2499,7	2499,9	2499,6	2499,5	2499,5	2500,4	2499,8	2498,9	2498,7	2499,8	2500
Poids tare	171,4	155,7	171,4	155,7	171,4	155,7	171,4	155,7	183,8	167,6	183,8	167,6	183,8	167,6
poids de l'eau	1,7	1,2	1,1	1,2	0,8	0,9	4,9	1	0,7	0,5	1,6	1,6	1	0,7
Poids matériau sec	2328,5	2348,6	2327,7	2344	2328,5	2343,9	2328,1	2343,8	2316,6	2332,2	2315,1	2331,1	2316	2332,4
Teneur en eau	0,07%	0,05%	0,05%	0,05%	0,03%	0,04%	0,21%	0,04%	0,03%	0,02%	0,07%	0,07%	0,04%	0,03%
Moyenne teneur en eau	0,06%		0,05%		0,04%		0,13%		0,03%		0,07%		0,04%	

**teneur en eau moyenne (W%) granite 15/25**



**ANNEXE 4-J : FICHE ECRASEMENT BETON (TUNNEL)**

**IAMGOLD ESSAKANE SA** P1 Aff. 10,9cm  
 DEPARTEMENT OPTIMISATION *Faso Contractor* N° Coulee  
 EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

**FICHE D'ECRASEMENT DE BETON**

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
TUNNEL	RADIER TUNNEL P1		TOURNEAU MBO	

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	MBO	18/10	7	C	556	27,80	15250	
2			7	C	558	27,90	15290	
3			7	C	528	26,00	15320	
Moyenne			7	C				27,23

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	MBO	08/11	28	C	667	33,35	15300	
2			28	C	670	33,60	15300	
3			28	C	667	33,45	15300	
Moyenne			28	C				33,48

Observations

VISA INSPECTEUR CONTROLE QUALITE VISA CHEF SERVICE INGENIER CIVIL  
 Essakane SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE

**IAMGOLD ESSAKANE SA** P2 Aff. 14,1cm  
 DEPARTEMENT OPTIMISATION *Faso Contractor* N° Coulee  
 EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

**FICHE D'ECRASEMENT DE BETON**

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
TUNNEL	RADIER TUNNEL P2		TOURNEAU MBO	

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	MBO	18/10	7	C	546	27,30	15170	
2			7	C	560	28,40	15210	
3			7	C	564	28,05	15290	
Moyenne			7	C				27,91

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	MBO	08/11	28	C	620	31,00	15300	
2			28	C	626	31,60	15300	
3			28	C	628	31,60	15300	
Moyenne			28	C				31,40

Observations

VISA INSPECTEUR CONTROLE QUALITE VISA CHEF SERVICE INGENIER CIVIL  
 Essakane SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE

**IAMGOLD ESSAKANE SA** P3 P3 Aff. 14,5cm  
 DEPARTEMENT OPTIMISATION *Faso Contractor* N° Coulee  
 EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

**FICHE D'ECRASEMENT DE BETON**

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
TUNNEL	RADIER TUNNEL P3		TOURNEAU MBO	

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	MBO	18/10	7	C	568	28,40	15140	
2			7	C	557	27,85	15020	
3			7	C	568	28,40	15170	
Moyenne			7	C				28,21

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	MBO	08/11	28	C	682	34,10	15300	
2			28	C	697	35,55	15300	
3			28	C	679	33,95	15300	
Moyenne			28	C				33,80

Observations

VISA INSPECTEUR CONTROLE QUALITE VISA CHEF SERVICE INGENIER CIVIL  
 Essakane SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE

**IAMGOLD ESSAKANE SA** P1 Aff. 9,0  
 DEPARTEMENT OPTIMISATION *Faso Contractor*  
 EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

**FICHE D'ECRASEMENT DE BETON**

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
Tunnel	RADIER 4° Coulee P1		TOURNEAU MBO	02/11

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	02/11	09/11	7	C	341,85	17,7	15380	
2			7	C	320,25	16,0	15180	
3			7	C	367,30	18,6	15440	
Moyenne			7	C				26,13

**ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS**

Numéro épreuve	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Résistance Fc [Mpa]	Masse [Kg]	Mvbéton [Kg/m3]
1	02/11	30/11	28	C	646	32,30	15510	
2			28	C	638	32,40	15500	
3			28	C	638	32,40	15500	
Moyenne			28	C				32,30

Observations

VISA INSPECTEUR CONTROLE QUALITE VISA CHEF SERVICE INGENIER CIVIL  
 Essakane SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE



Faso Contractor Aff: 10,3  
P1 2<sup>e</sup> coulé

DEPARTEMENT OPTIMISATION EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

FICHE D'ECRASUREMENT DE BETON

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
Tunnel	Radier 2 <sup>e</sup> -coulée		Ali et Maurice	18/10
P1				

ESSAIS D'ECRASUREMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS

Numero éprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité (jours)	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture (kN)	Résistance F <sub>d</sub> (Mpa)	Masse (Kg)	Mvbéton (Kg/m <sup>3</sup> )
1	18/10	25/10	7	C	571	33,55	15350	
2			7	C	568	33,40	15350	
3			7	C	575	33,50	15350	
Moyenne			7	C				27,47

ESSAIS D'ECRASUREMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS

Numero éprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité (jours)	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture (kN)	Résistance F <sub>d</sub> (Mpa)	Masse (Kg)	Mvbéton (Kg/m <sup>3</sup> )
1	18/10	15/11	28	C	706	35,30	15400	
2			28	C	693	34,65	15230	
3			28	C				
Moyenne					687	34,35	15340	29,76

Observations



VISA INSPECTEUR COMPETENCE QUALITE

VISA CHEF SERVICE INGENIERIE CIVIL

Bureau SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE



Faso-Contractor Aff: 7,1  
P2 2<sup>e</sup>-coulée

DEPARTEMENT OPTIMISATION EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

FICHE D'ECRASUREMENT DE BETON

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
Tunnel	Radier 2 <sup>e</sup> -coulée		Ali Maurice	18/10
P2				

ESSAIS D'ECRASUREMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS

Numero éprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité (jours)	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture (kN)	Résistance F <sub>d</sub> (Mpa)	Masse (Kg)	Mvbéton (Kg/m <sup>3</sup> )
1	18/10	25/10	7	C	553	31,55	15260	
2			7	C	564	32,50	15260	
3			7	C	588	33,50	15260	
Moyenne			7	C				27,47

ESSAIS D'ECRASUREMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS

Numero éprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité (jours)	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture (kN)	Résistance F <sub>d</sub> (Mpa)	Masse (Kg)	Mvbéton (Kg/m <sup>3</sup> )
1	18/10	15/11	28	C	678	34,40	15420	
2			28	C				
3			28	C	693	34,65	15260	
Moyenne					700	35,00	15260	34,68

Observations



VISA INSPECTEUR COMPETENCE QUALITE

VISA CHEF SERVICE INGENIERIE CIVIL

Bureau SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE



Faso Contractor Aff: 9,8  
P3 2<sup>e</sup>-coulée

DEPARTEMENT OPTIMISATION EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

FICHE D'ECRASUREMENT DE BETON

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
Tunnel	Radier 2 <sup>e</sup> -coulée		Ali et Maurice	18/10
P3				

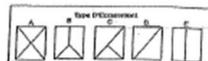
ESSAIS D'ECRASUREMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS

Numero éprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité (jours)	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture (kN)	Résistance F <sub>d</sub> (Mpa)	Masse (Kg)	Mvbéton (Kg/m <sup>3</sup> )
1	18/10	25/10	7	C	360	22,40	15380	
2			7	C	366	22,30	15380	
3			7	C	382	23,10	15320	
Moyenne			7	C				27,60

ESSAIS D'ECRASUREMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS

Numero éprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité (jours)	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture (kN)	Résistance F <sub>d</sub> (Mpa)	Masse (Kg)	Mvbéton (Kg/m <sup>3</sup> )
1	18/10	15/11	28	C	710	35,50	15380	
2			28	C	679	33,95	15370	
3			28	C				
Moyenne					693	34,65	15390	34,70

Observations



VISA INSPECTEUR COMPETENCE QUALITE

VISA CHEF SERVICE INGENIERIE CIVIL

Bureau SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE



Faso-Contractor Aff: 12,00  
P4 2<sup>e</sup>-coulée

DEPARTEMENT OPTIMISATION EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

FICHE D'ECRASUREMENT DE BETON

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
TUNNEL	Radier 2 <sup>e</sup> -coulée		Ali et Maurice	18/10
P4				

ESSAIS D'ECRASUREMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS

Numero éprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité (jours)	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture (kN)	Résistance F <sub>d</sub> (Mpa)	Masse (Kg)	Mvbéton (Kg/m <sup>3</sup> )
1	18/10	25/10	7	C	558	32,30	15380	
2			7	C	564	32,30	15400	
3			7	C	578	32,30	15320	
Moyenne			7	C				27,55

Observations



VISA INSPECTEUR COMPETENCE QUALITE

VISA CHEF SERVICE INGENIERIE CIVIL

Bureau SA OPTIMISATION GEOTECHNIQUE

Voiles



Aff=14,5

DEPARTEMENT OPTIMISATION EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

FICHE D'ECRASEMENT DE BETON

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
USINE	Voie SAG MILL		T. ALI	21/10/11

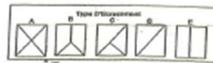
ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS

Numero eprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Resistance F <sub>ij</sub> [Mpa]	Massa [Kg]	Mvbéton [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	21/10	28/10	7	C	578	23,60	14890	
2			7	C	503	20,10	14660	
3			7	C	628	25,10	14960	
Moyenne			7	C				23,27

ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS

Numero eprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Resistance F <sub>ij</sub> [Mpa]	Massa [Kg]	Mvbéton [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	21/10	18/11	28	C	750	30,00	14990	
2			28	C	633	25,30	14780	
3			28	C	641	25,65	14820	
Moyenne								24,27

Observations



LA INSPECTEUR  
INSTRUMENTATION  
DEPARTEMENT OPTIMISATION  
GEOTECHNIQUE

VISA CHEF SERVICE  
INSTRUMENTATION  
GEOTECHNIQUE



Faso Contractor Aff=7,7  
2<sup>e</sup> Coulee

DEPARTEMENT OPTIMISATION EQUIPE CIVIL SERVICE GEOTECHNIQUE

FICHE D'ECRASEMENT DE BETON

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
Tunnel	Voie Ouest Section R1 2 <sup>e</sup> Coulee		T. ALI	04/11/11

ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS

Numero eprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Resistance F <sub>ij</sub> [Mpa]	Massa [Kg]	Mvbéton [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	04/11	11/11	7	C	548	22,10	15010	
2			7	C	566	22,80	15310	
3			7	C	554	22,70	15290	
Moyenne			7	C				22,70

ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS

Numero eprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Resistance F <sub>ij</sub> [Mpa]	Massa [Kg]	Mvbéton [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	04/11	02/12	28	C	682	27,10	15440	
2			28	C	654	26,70	15320	
3			28	C	668	27,40	15320	
Moyenne								27,40

Observations



LA INSPECTEUR  
INSTRUMENTATION  
DEPARTEMENT OPTIMISATION  
GEOTECHNIQUE

VISA CHEF SERVICE  
INSTRUMENTATION  
GEOTECHNIQUE



Aff=7,200

DEPARTEMENT OPTIMISATION EQUIPE CIVIL Faso Contractor SERVICE GEOTECHNIQUE

FICHE D'ECRASEMENT DE BETON

SECTEUR DE COULEE	TYPE D'OUVRAGE	VISA INSP	OPERATEUR	DATE
TUNNEL	Voie EST R1 Tunnel 1 <sup>e</sup> Coulee		TAURICE	08/11/11

ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 7 JOURS

Numero eprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Resistance F <sub>ij</sub> [Mpa]	Massa [Kg]	Mvbéton [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	08/11	15/11/11	7	C	564	23,20	15370	
2			7	C	570	23,00	15230	
3			7	C	530	21,60	15310	
Moyenne			7	C				23,93

ESSAIS D'ECRASEMENT DES EPROUVETTES A 28 JOURS

Numero eprouvette	Date de confection	Date de rupture	Maturité [jours]	Type d'essai [C, T ou F]	Charge de rupture [kN]	Resistance F <sub>ij</sub> [Mpa]	Massa [Kg]	Mvbéton [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	08/11	08/12/11	28	C	653	26,35	15240	
2			28	C	662	26,70	15340	
3			28	C	657	26,25	15250	
Moyenne								26,26

Observations



LA INSPECTEUR  
INSTRUMENTATION  
DEPARTEMENT OPTIMISATION  
GEOTECHNIQUE

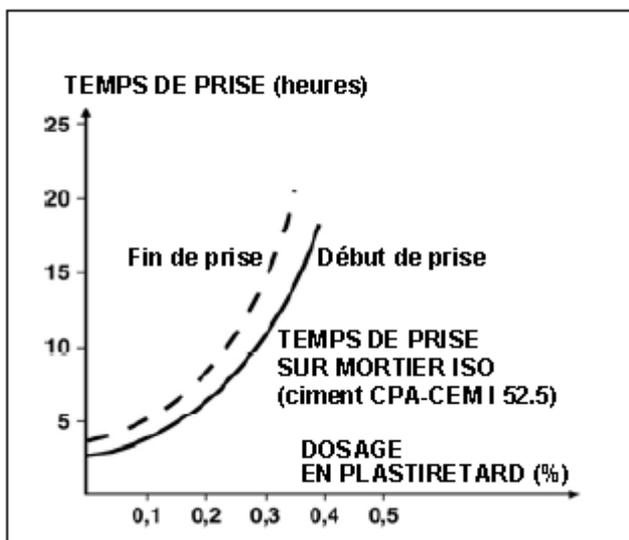
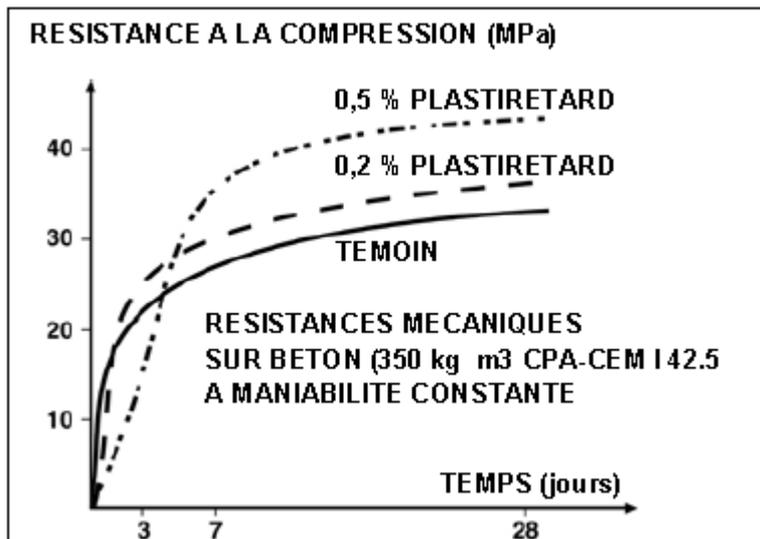
VISA CHEF SERVICE  
INSTRUMENTATION  
GEOTECHNIQUE

## ANNEXE : 4-H EXTRAIT FICHE TECHNIQUE (NOTICE TECHNIQUE EDITION OCTOBRE 2006 NUMERO 1.12 VERSION N°120.2006 PLASTIRETARD)

Grâce à une réduction d'eau de 10 à 15%, le PLASTIRETARD augmente les résistances mécaniques du béton à long terme de 20 à 30%. Il améliore aussi considérablement la compacité.

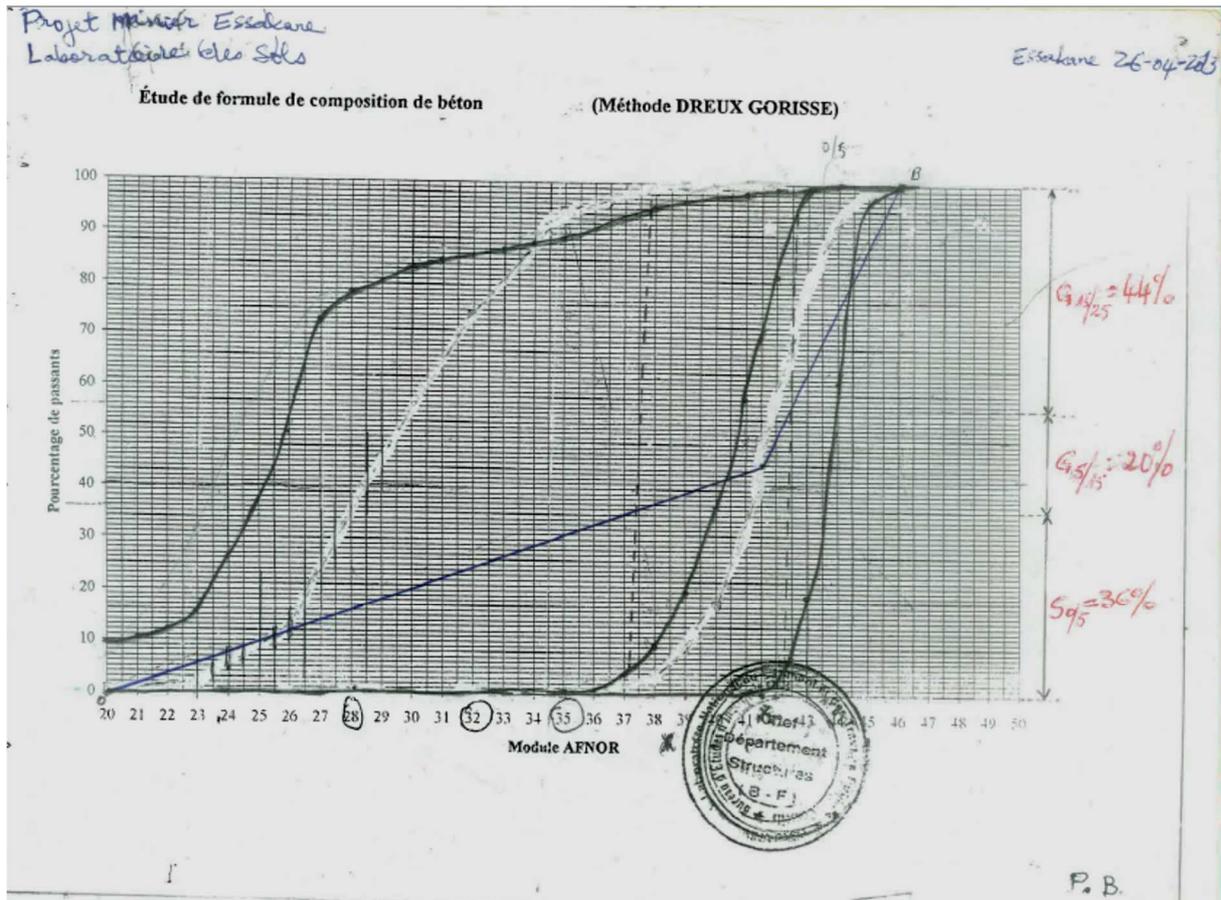
Il est particulièrement adapté :

- ❖ aux bétons armés et précontraints,
- ❖ aux bétons des réservoirs.



## **ANNEXE 5 : ETUDE DE FORMULATION**

### ANNEXE 5-A : COURBE DE COMPOSITION BETON



## **ANNEXE 6 : COÛT D'OPÉRATION**

**ANNEXE 6-A : QUANTITATIF BETON ET RATIO ARMATURE PAR SECTEUR**

DESIGNATION		Récap Acier T	Récap béton M3	Ratio ACIER T/M3
AREA	PROJET			
301	TUNNEL	862,674		<b>0,22</b>
	Screening	33,841		
	Crushing	138,349		
	SAL ELECT	0		
	Transfer Tower (1, 2,3)	9,809		
	Convoyeur CV 201 à 205	31,781		
	Convoyeur CV 206	4,387		
	Crush Stockpil	1,585		
Sous total acier 301		1082,426	<b>4888,192</b>	
302	NEW MILLING	124,04		<b>0,12</b>
	SAG MILL	160,428		
	BALL MILL	156,42074		
	SAL ELEC B	32,58		
	SAL ELEC C	0		
	SAL ELEC D	1,372		
		473,46774		
303	GRAVITY	21,72008	372,42	<b>0,06</b>
305	CIL TANK	75,543564	1027	<b>0,07</b>
306	SCREENING	16,109916		<b>0,08</b>
	FINAL	9,518412		
	UTILITY	7,270188		
		32,898516	404,511	
312	REAGENT HYDRO	5,357	60,38	<b>0,09</b>
314	COMPRESSED AIR	55,133	248,22	<b>0,22</b>
324	SLAB	3,909312		<b>0,08</b>
	BASIS	10,16556		
	WALL	16,251144		
	METABISULFITE	14,343468		
	SULFURIC ACIDE	0,29616		
	TTP	0,77886		
	PEROXIDE	3,687096		
		49,4316	630	
327	Process control	5,88	67,611	<b>0,09</b>
430	Power plant	155,6	1314	<b>0,12</b>
<b>Ratio moy T/M3</b>				<b>0,11</b>
<b>Ratio moy Kg/M3</b>				<b>115</b>

## **ANNEXE 6-B : DETAILS DES DIFFERENTS POSTES DE DEPENSE**

Dans cette partie on abordera le détail du récapitulatif d'étude du coût de la fabrication du béton sur le site minier Essakane. L'ensemble des différents prix unitaires mentionnés dans les rubriques ci-dessous sont des données confidentielles provenant des fournisseurs et prestataires de services intervenant sur ce projet.

### **1- Hypothèses**

La durée prévisionnelle du gros œuvre qui est de 11 mois soit 330 jours, un temps de fonctionnement journalier à la centrale de 10h, la perte de matériaux est limitée à 1%, une sommation en électricité de 16.80kwh avec une quantité totale de béton estimé à 18000m<sup>3</sup> pour ce projet.

### **2- Matériel**

Il s'agit des coûts concernant : l'installation, démontage de la centrale à béton et de sa maintenance ; engins en location et leur consommation en carburant.

### **3- Matériaux**

Il s'agit des coûts du ciment, sable, granite concassé, eau, des adjuvants, des armatures et des coffrages.

### **4- Main d'œuvre de production.**

Pour le suivi et contrôle de la production l'équipe est composée de :

- ❖ 02 Ingénieurs pour le contrôle qualité de la production ;
- ❖ 06 techniciens (02 opérateurs géotechniques et 04 opérateurs de la centrale) et
- ❖ 06 manœuvres pour les travaux liés à la centrale.

### **5- Consommations**

Cette rubrique tient compte essentiellement l'estimation des coûts liés à l'eau de lavage matériels, de la consommation électrique (centrale thermique) et divers consommations en carburant des engins.

### **6- Prestataire de service**

On distingue essentiellement pour l'estimation du coût des diverses prestations externe nécessaire pour ce projet :

- ❖ Les essais contradictoires ;
- ❖ Etudes BA : essais éventuels sur matériaux, contrôle de matériels et autres.

**ANNEXE 6-C : COMPOSITION DE L'EQUIPE DES OPERATIONS DE BETONNAGES D'ESSAKANE**

<b>Coffrage</b>		<b>Armature</b>		<b>Mise en place du béton</b>		<b>Equipe journaliers</b>	
<b>Équipe de coffrage no.A</b>		<b>Équipe d'armature No.A</b>		<b>Équipe de béton No.A</b>		<b>Journalier A</b>	
Nombre de travailleurs	10	Nombre de travailleurs	6	Nombre de travailleurs	6	Nombre de travailleurs	3
Mise en place coffrage & décoffrage		Mise en place d'acier d'armature		Mise en place du béton & finition			
<b>Équipe de coffrage no.B</b>		<b>Équipe d'armature No.B</b>		<b>Équipe de béton No.B</b>		<b>Journalier B</b>	
Nombre de travailleurs	10	Nombre de travailleurs	6	Nombre de travailleurs	6	Nombre de travailleurs	3
Mise en place coffrage & décoffrage		Mise en place d'acier d'armature		Mise en place du béton & finition			
<b>Équipe de coffrage no.C</b>		<b>Équipe d'armature No.C</b>		<b>Équipe de béton No.C</b>		<b>Journalier C</b>	3
Nombre de travailleurs	10	Nombre de travailleurs	6	Nombre de travailleurs	6		
Mise en place coffrage & décoffrage		Mise en place d'acier d'armature		Mise en place du béton & finition			
<b>Total M-O Coffrage</b>	<b>30</b>		<b>18</b>		<b>18</b>		<b>9</b>

<b>Equipe Magasinier</b>		<b>Equipe calligraphe</b>		<b>Production de béton</b>		<b>Equipe d'arpentage</b>	
<b>Equipe A</b>		<b>Equipe A</b>		<b>Equipe A</b>		<b>Equipe A</b>	
Nombre de travailleurs	1	Nombre de travailleurs	1	Nombre de travailleurs	8	Nombre de travailleurs	2
<b>Equipe B</b>		<b>Equipe B</b>		<b>Equipe B</b>		<b>Equipe B</b>	
Nombre de travailleurs	1	Nombre de travailleurs	1	Nombre de travailleurs	8	Nombre de travailleurs	2
						<b>Equipe C</b>	
						Nombre de travailleurs	2
	2		2		16		6
<b>Grand total Locaux</b>	<b>101</b>						
<b>Grand total Expat</b>	9,00						

## ANNEXE 6-D : NOTE CALCUL DE COÛT DE BETONNAGE

Taux de change CFA/CAN : 497.0898

Taux de change :

0.972

CAN/US

Aide calculs

Mise en place du béton Salaire ouvriers Aide locaux G4

Salaire ouvriers locaux G 3

Salaire ouvriers locaux G 2

Salaire ouvriers locaux G 1

Salaire ouvrier Expat

Étude	Devise
<b>1,4</b>	USD
<b>3</b>	USD
<b>5</b>	USD
<b>10</b>	USD
<b>60</b>	USD

EXEMPLE CALCUL Coulée de béton, Quantité/jour:		80	m <sup>3</sup>
	FS	1,15	

### COFFRAGE

Coffrage / M-O

	%/100	Nombre	Jours	hrs/jour	Hrs total	Coût/hrs (USD)	Total
Menuisier	1	16	3	10	480	5	2400
Journalier	1	7	3	10	210	1,4	294
Magasinier	1	1	3	10	30	3	90
Calligraphe	1	1	3	10	30	3	90
Aide	1	4	3	10	120	1,4	168
1 contremaitre	1	1	3	10	30	60	1800
<b>Total</b>					<b>900</b>		<b>4842</b>
				Qté béton	80	Nombre d'heure (hr)	900
				Hrs/m3	11,25	Salaire moyen (\$/hr)	5,38
				FS	1,15		
				Total M/H	12,938	Coût total (\$/m3)	<b>69,60</b>

## ANNEXE 6-D (SUITE)

### Coffrage / Matériel Petit matériel

Bois - Contreplaqué	2	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	16,86	33,72		13000 CFA
Bois 2 x 4	2	m/m <sup>3</sup>	1,99	3,98		1000 CFA/m
Profilage du bois (M-O)				2		
			Total	<b>39,7</b>		
Nombre de réutilisation			4	<b>9,925</b>		
Autres (consommable)	1	unit/m <sup>3</sup>	1	1		
			<b>Total</b>	<b>10,925</b>		

### Coffrage pré-fab

Coffrage verticaux - Achat1	81000	USD
Coffrage verticaux - Achat2	57000	USD
Coffrage verticaux - transport*	25000	USD
Coffrage circulaire - Achat	43000	USD
Coffrage circulaire - transport	8000	USD
Articles de coffrage	100000	USD
Articles de coffrage - Transport*	25000	USD
<b>Coût Total</b>	<b>339000</b>	<b>USD</b>
Quantité totale de béton	18000	m <sup>3</sup>
Coût / m <sup>3</sup>	<b>18,83</b>	USD/m <sup>3</sup>
<b>TOTAL COFFRAGE MATÉRIEL</b>	<b>29,76</b>	<b>USD/m<sup>3</sup></b>

\* : *approximatif*

### ARPENTAGE ARPENTAGE / M-O

	%/100	Nombre	Jours	hrs/jour	Hrs total	Coût/hrs (USD)	Total
Arpenteur	1	2	3	10	60	5	300
Aide	1	2	3	10	60	1,4	84
1 contremaitre	1	1	3	10	30	60	1800
<b>Total</b>					<b>150</b>		<b>2184</b>
				Qté béton	80	Nombre d'heure (hr)	150
				Hrs/m <sup>3</sup>	1,88	Salaire moyen (\$/hr)	14,56
				FS	1,5		
				Total M/H	2,81	Coût total (\$/m <sup>3</sup> )	<b>40,95</b>

**ANNEXE 6-D (SUITE)**

**ARMATURE**

Acier d'armature / MO

	%/100	Nombre	Jours	hrs/jour	Hrs total	Coût/hrs (USD)	Total
Plieur d'acier	1	5	3	10	150	3	450
Installeur d'acier	1	5	3	10	150	3	450
Aide	1	2	3	10	60	1,4	84
1 contremaître	1	1	3	10	30	60	1800
<b>Total</b>					<b>390</b>		<b>2784</b>
				Qté béton	80	Nombre d'heure (hr)	390
				Hrs/m <sup>3</sup>	4,88	Salaire moyen (\$/hr)	7,14
				FS	1,15		
				Total M/H	5,61	Coût total (\$/m <sup>3</sup> )	<b>40,02</b>

Acier / Matériel

<b>Matériel</b>		
Coût acier / tonne:	1005,854	USD
Coût acier / kg:	1,005854	USD
<b>Transport au site</b>		
Coût	100	USD
Quantité	1000	kg
Coût unitaire	0,1	\$/kg
<b>Coût total / kg acier</b>	1,105854	
Estimé Acier/m <sup>3</sup>	115	Kg
Coût / m <sup>3</sup>	127,1733	\$

**ANNEXE 6-D (SUITE)**

**Mise en place du béton**

	%/100	Nombre	Jours	hrs/jour	Hrs total	Coût/hrs (USD)	Total
Préposé à la chute	1	1	1	10	10	1,4	14
Mise en place	1	5	1	10	50	3	150
Finition	1	3	2	10	60	3	180
Vibration	1	2	1	10	20	3	60
Aide	1	1	1	10	10	1,4	14
1 contremaître	1	1	1	10	10	60	600
<b>Total</b>					<b>160</b>		<b>1018</b>
				Qté béton	80	Nombre d'heure (hr)	160
				Hrs/m <sup>3</sup>	2,00	Salaire moyen (\$/hr)	6,36
				FS	1,15		
				Total M/H	2,30	Coût total (\$/m <sup>3</sup> )	<b>14,63</b>

**Outillage général**

Achat outillage	50000	USD
Quantité de béton	18000	m <sup>3</sup>
Coût outillage	2,78	USD/m <sup>3</sup>

**Production du béton**

	%/100	Nombre	Jours	hrs/jour	Hrs total	Coût/hrs (USD)	Total
Camionneur toupie	1	3	1	10	30	5	150
Opérateur Usine à béton	1	1	1	10	10	5	50
Opérateur manitou	1	1	1	10	10	3	30
Opérateur chargeuse	1	1	1	10	10	5	50
Aide Usine a béton	1	1	1	10	10	1,4	14
Opérateur géotechnique	1	1	1	10	10	5	50
Perceur de sac de ciment	1	4	1	10	40	1,4	56
1 contremaître Local	1	1	1	10	10	10	100
<b>Total</b>					<b>130</b>		<b>500</b>
				Qté béton	80	Nombre d'heure (hr)	130
				Hrs/m <sup>3</sup>	1,63	Salaire moyen (\$/hr)	3,85
				FS	1,15		
				Total M/H	1,87	Coût total (\$/m <sup>3</sup> )	<b>7,19</b>

**ANNEXE 6-D (SUITE)**

<b>Man Power Travaux de béton - Projet Essakane</b>			
Composantes			
Quantité de béton	18000	m <sup>3</sup>	%
<b>Arpentage</b>			
Main-d'œuvre	2,81	man/hour/m <sup>3</sup>	
Man/hour total	50625	heures	11,02
<b>Coffrage</b>			
Main-d'œuvre	12,94	man/hour/m <sup>3</sup>	
Man/hour total	232875,0	heures	50,69
<b>Acier d'armature</b>			
Main d'œuvre	5,61	man/hour/m <sup>3</sup>	
Man/hour total	100912,5	heures	21,96
<b>Mise en place du béton</b>			
Main d'œuvre	2,30	man/hour/m <sup>3</sup>	
Man/hour total	41400,0	heures	9,01
<b>Production du béton</b>			
Main d'œuvre	1,87	man/hour/m <sup>3</sup>	
Man/hour total	33637,5	heures	7,32
<b>Nombre d'heure totale</b>	<b>459450,0</b>	<b>heures</b>	<b>88,98</b>

M-O Local	1,73	man/hour/m <sup>3</sup>
M-O Expat	1,09	man/hour/m <sup>3</sup>

M-O Local	12,51	man/hour/m <sup>3</sup>
M-O Expat	0,43	man/hour/m <sup>3</sup>

M-O Local	5,18	man/hour/m <sup>3</sup>
M-O Expat	0,43	man/hour/m <sup>3</sup>

M-O Local	2,16	man/hour/m <sup>3</sup>
M-O Expat	0,14	man/hour/m <sup>3</sup>

M-O Local	1,87	man/hour/m <sup>3</sup>
M-O Expat	0,00	man/hour/m <sup>3</sup>

Nombre d'heure / jour	10	heures
Durée du projet - Béton	330	Jours
Quantité de béton	18000	m <sup>3</sup>

<b>LOCAUX</b>	
Man/ hour total / m3	21,71
Nombre d'heure total	390712,5
Nombre de travailleurs	<b>118,4</b>
<b>EXPAT</b>	
Man/ hour total / m3	1,01
Nombre d'heure total	18112,5
Nombre de travailleurs	<b>5,5</b>

	Locaux	Expat
Coffrage	60,01	2,78
Acier d'armature	26,00	1,21
Mise en place béton	10,67	0,49
Production béton	8,67	0,40
<b>Totaux</b>	<b>105,35</b>	<b>4,88</b>

## ANNEXE 6-D (SUITE)

<b>Ciment</b>	Coût / sac de 50 kg	7825	CFA	15,23	USD
	Quantité ciment/m <sup>3</sup>	350	kg		
	Coût ciment/kg	<b>0,366</b>	USD		
	Total coût ciment/m <sup>3</sup>	127,94	\$/m <sup>3</sup>		

## Granulats

Besoins:			
AGGRÉGAT DE BONNE QUALITÉ			
Coût moyen - granite concassée	35000	CFA/m <sup>3</sup>	
Coût moyen - granite concassée	68,68	USD/m <sup>3</sup>	
Quantité de granite concassée/m <sup>3</sup>	0,5	m <sup>3</sup> d'agrégat/m <sup>3</sup> béton	
Coût Agrégats / m <sup>3</sup> de béton	34,34	USD	
<b>Coût global proportionnel</b>	<b>34,34</b>	<b>USD</b>	

## Sable

Provenance	Sahel	
Redevance	21,57	\$/m <sup>3</sup>
Coût transport -Site	14	\$/m <sup>3</sup>
Quantité sable / m <sup>3</sup>	680	kg
Densité sable SSS	2690	kg
Volume sable	0,25	m <sup>3</sup>
Coût sable / m <sup>3</sup> béton	8,99	\$

## Adjuvants

<b>Plasti retard</b>		
Coût au litre	9,85	\$US
Nombre de litre / m <sup>3</sup>	1,00	litres
Coût plasti retard	<b>9,85</b>	\$/m <sup>3</sup>
<b>Transport</b>		
Transport & dédouanage	8500,00	USD
Total	8500,00	\$
Nombre de litre transporté	34440,00	litres
Coût unitaire transport	<b>0,25</b>	\$/litre
Coût total adjuvant	10,09	\$/m <sup>3</sup>
FS (15%)	1,51	\$/m <sup>3</sup>
Grand Total	<b>11,61</b>	\$/m <sup>3</sup>

## ANNEXE 6-D (SUITE)

### Consommation diesel

<b>Manitou</b>				
Prix diesel (litre)	720	CFA	1,40	USD
Consommation/jour	50	litres/jour		
Production / jour	80	m3/jour		
Quantité diesel/m <sup>3</sup>	0,625	litres/m3		
Coût	0,88	USD/m3		

<b>Chargeuse 966</b>				
Prix diesel (litre)	720	CFA	1,40	USD
Consommation/jour	140	litres/jour		
Production / jour	80	m3/jour		
Quantité diesel/m <sup>3</sup>	1,75	litres/m3		
Coût	2,45	USD/m3		

<b>Camion (Pickup)</b>				
Quantité	1			
Prix diesel (litre)	720	CFA	1,40	USD
Consommation/jour/camion	25	litres/jour		
Production / jour	80	m3/jour		
Quantité diesel/m <sup>3</sup>	0,3125	litres/m3		
Coût	0,44	USD/m3		

<b>Camion toupie</b>				
Quantité	3			
Prix diesel (litre)	720	CFA	1,40	USD
Consommation/jour/camion	70	litres/jour		
Production / jour	80	m3/jour		
Quantité diesel/m <sup>3</sup>	0,875	litres/m3		
Coût	1,23	USD/m3		

<b>Coût total - Consommation Diesel / m3</b>		
Manitou	0,88	USD/m3
Chargeuse	2,45	USD/m3
Camion (Pickup)	0,44	USD/m3
Toupie	1,23	USD/m3
<b>TOTAL</b>	<b>4,99</b>	<b>USD/m3</b>

### Maintenance

<b>Batch plant</b>			
1 entretien au 2 semaines	M-O	250	USD
Changement pièces/2 semaines	Matériel	300	USD
	Total	550	USD
Production estimé sur 2 semaines		1000	m3
	Coût	0,55	USD/m3

## ANNEXE 6-D (SUITE)

### Machinerie

<b>Chargeuse - Location</b>		
Coût de location	45000	CFA/h
Coût de location (USD)	90,53	USD/h
Coût total	905,269	USD
Coût /m <sup>3</sup>	<b>11,316</b>	USD/m <sup>3</sup>

<b>Toupie - Location</b>		
Coût de location	17500	CFA/h
Coût de location (USD)	35,20	USD/h
Coût total	352,0491	USD
Coût /m <sup>3</sup>	<b>4,401</b>	USD/m <sup>3</sup>

<b>Manitou - Location</b>		
Coût de location	16500	CFA/h
Coût de location (USD)	33,19	USD/h
Coût total	331,932	USD
Coût /m <sup>3</sup>	<b>4,149</b>	USD/m <sup>3</sup>

<b>Usine a béton - Achat</b>		
Coût d'achat	115000	USD
Coût de transport*	14000	USD
Mise en place de l'usine (érection)	14000	USD
Coût total	143000	USD
Production total de béton	18000	m <sup>3</sup>
Coût /m <sup>3</sup>	<b>7,944</b>	USD/m <sup>3</sup>

<b>Pick Up - Location</b>		
Coût de location	6500	CFA/h
Coût de location (USD)	13,08	USD/h
Coût total	130,7611	USD
Coût /m <sup>3</sup>	<b>1,635</b>	USD/m <sup>3</sup>

**ANNEXE 6-F : PROPOSITION DE BORDEREAU DE LIVRAISON BETON SUR CHANTIER PRODUIT PAR LA CENTRALE**

			Exemple de bon de livraison				Heures (1)		
			centrale	IAMGOLD			Fin de gâchage		
			Bon n°				Arriver chantier		
			N° camion				Début déchargement		
Client			Volume m <sup>3</sup>			fin déchargement			
Chantier			Date:						
			Référence commande						
Désignation du béton	Classe d'exposition (3)	Classe chlorures	Résistance caractéristique (4)	Type classe et du ciment	Type Additions	Dosage(5) kg/m <sup>3</sup>	Consistance	Dmax	Type adjuvant
BPS									
BCPN ou BCPE									
Produit spécial (8)									
Livraison réceptionnée, le client		Ajout sur chantier (9)		Demandeur (Signature)		Conseils de sécurité en aucun cas ce produit ne doit pas entrer en contact avec la peau ou les muqueuses au risque de provoquer des allergies, des rougeurs ou des brûlures.		<b>xi:irritant</b> 	
<p>BPS: Béton à propriété Spéciale                  BCPE: Béton à Composition Prescrite sur Etude-client                  BCPN: Béton à Composition Prescrite dans la Norme</p>									