

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie-Minier
Entreprise Cosider Carrière

Mémoire de master en Génie-Minier

Etude de la propreté du sable afin d'assurer une exploitation sélective calcaire –marne de la
carrière de Cerrou El Djoua (Bouira)

Nesrine LAOUAR STAHI

Sous la direction de M. Mohammed Aguid BACHAR ASSED
Présentée et soutenue publiquement le 24/09 /2017

Composition du jury :

Président : M. Larouci CHANANE	MAA	(ENP)
Promoteur : M .Mohammed Aguid BACHAR ASSAD	Professeur	(ENP)
Examineur : M. Rachid GACEM	MAA	(ENP)



Département Génie-Minier
Entreprise Cosider Carrière

Mémoire de
Master en Génie-Minier

Etude de la propreté du sable issus d'une exploitation sélective calcaire –marne de la carrière
de Cerrou El Djoua (Bouira)

Nesrine LAOUAR STAHI

Sous la direction de M. Mohammed Aguid BACHAR ASSED
Présentée et soutenue publiquement le 24/09/2017

Composition du jury :

Président : M. Larouci CHANANE	MAA	(ENP)
Promoteur : M .Mohammed Aguid BACHAR ASSAD	Professeur	(ENP)
Examineur : M. Rachid GACEM	MAA	(ENP)

ملخص:

يطبع على محجرة سرو الجوة ظهور طبقة من الطين الجيري ضمن حقل الحجر الكلسي الذي يعتبر ذات نوعية جيدة، حيث أن الاستغلال المنجمي للمادتين سويا على أحسن وجه قد يسمح بالحصول على حصى ذات نوعية وقيمة مضافة مقبولة عند تسويقه .

الهدف من هذا العمل هو تحسين كمية الخليط الممزوج المستخرج من المحجرة والمكون من الحجر الكلسي والطين الجيري وذلك باستعمال برمجية (Design Expert 07) للحصول على رمل ذات معايير دولية.

الكلمات المفتاحية: الحجر الكلسي، الطين الجيري، الخليط الممزوج، تحسين، برمجية (Design Expert 07)

Abstract:

A layer of marl intercalating limestone of very good quality reveals the deposit forming the Cerrou El Djoua quarry, the simultaneous extraction of the two mineral substances would have produced a high product of acceptable market value.

The objective of this work is to optimize the limestone-marl mixture to be felled using software (Design Expert 07) in order to obtain normativesand,

Key words: Limestone, marl, homogenization, optimization, Software Design Expert 07.

Résumé

Le gisement formant la carrière de Cerrou El Djoua est mis en évidence par une couche de marne intercalant le calcaire de très bonne qualité, dont l'extraction simultanée des deux substances minérales aurait donné un produit élevé de valeur marchande acceptable.

L'objectif de ce travail est d'optimiser le mélange calcaire-marne à abattre à l'aide de logiciel (Design Expert 07) afin d'obtenir un sable normatif

Mots clés : Calcaire, marne, homogénéisation, optimisation, logiciel Design Expert 07

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Allah notre grand bon Dieu, le tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage d'établir ce modeste travail.

*J'exprime mes sincères remerciements à mon promoteur Professeur Mohamed AguidBaharAsse pour avoir proposé et dirigé ce travail, je le remercie
Également, pour son aide effective et dont les conseils m'ont été très précieux.*

*Mes chers remerciements vont vers Monsieur BOUKHARI Abdelhakim, Président Directeur
Général de COSIDER CARRIERES*

*Nous lui exprimons notre grande gratitude au suivi de notre projet dès l'entame du stage au
niveau de la Carrière d'El Hachimia.*

*Ce stage qui a été encadré et pris en charge grâce à l'aide constante et soutenue de Mme
ARAB Née HAMZA Hamida, Directrice technique – Marketing de COSIDER CARRIERES.*

*Je tiens aussi à remercier le personnel de l'unité de Cerrou El Djoua (Bouira) en
particulier, à leur :*

Directeur d'unité Mr Boualam HAOUA

Chef d'exploitation Mm Naima METIDJI

Ingénieur des mines Mr Samir ARRAAR

Le responsable du laboratoire Mr Hichem BOUMAZILOUD

Pour leurs conseils, leur aide et leur accueil durant le déroulement du stage.

*Je remercie tous ceux qui ont contribué à ma formation depuis mon jeune âge et aux
enseignants du département de Génie Minier, à leur tête Mr OULD HAMOU Malek, Chef de
département Génie-Minier de mon honorable école nationale polytechnique, pour ses
conseils, orientations riches d'une grande expérience et son esprit positif.*

*Je tiens à remercier vivement Mlle Khaoula BEDRI envers qui je suis très reconnaissante
pour l'aide précieuse qu'elle m'a apportée, ainsi que pour sa disponibilité.*

*Ainsi je remercie Mr.CHANANE qui m'a fait l'honneur de présider mon jury et Mr.Rachid
GACEM pour avoir accepté d'examiner mon travail,
et d'y avoir porté leur juste appréciation.*

DÉDICACES

Avant tout, je dédie ce modeste travail à mes chers parents pour leur compréhension, sacrifice, patience et leur soutien moral et tous leurs encouragements durant mon cursus scolaire et universitaire.

Je dédie ce travail aussi à :

Mes très chères sœurs YASMINE ET ASMA

A toute ma famille LAOUAR STAHI & BOUMOUD.

A ma deuxième famille qui m'a accueillie et m'a offert une ambiance conviviale et sereine pour assurer le bon cheminement de notre travail, en l'occurrence à Mr BOUZAID Fathi et sa famille pour leur aide et conseils.

A tous mes amies, en l'occurrence celles de l'ENP.

NESRINE LAOUAR STAHI

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE	8
Présentation de l'unité de Cerrou El Djoua.....	9
Chapitre I : Présentation de la carrière de Cerrou El Djoua	10
I.1.Cadre naturel	11
I.1.1.Situation administrative et géographique.....	11
I.1.2. Géomorphologie.....	12
I.2. Contexte Géologique.....	13
I.2.1. Géologie du gisement	13
I.3. Etat Des Réserves Géologiques (31/12/2016)	16
Chapitre II :la production et la qualité du sable de la carrière	13
II.1.Définition du sable.....	18
II.2.Le processus du Traitement du minerai.....	18
II.3.Définition des impuretés(argiles)	20
II.4.Impact de la propreté du sable sur la formulation d'un béton	21
II.5.Vérification de la propreté des sables.....	21
II.5.1.Essai d'équivalent de sable	21
II.5.2.Essai bleu de méthylène	24
CHAPITRE III :étude de la propreté du sable de la carrière.....	20
III.1.Préparation des mélanges	27
III.2.Interprétation des résultats de l'essai de MB.....	29
III.3.Interprétation des résultats d'équivalent de sable.....	29
III.4.Optimisation des résultats.....	30
Conclusion générale	33
BIBLIOGRAPHIE	34
Annexe01	35
Annexe 02	36

Liste des figures

Figure. I. 1: Situation topographique de la zone d'étude (Extrait d'assemblage des cartes topographique de Sour El Ghozlane N°NJ-31-IV-82 EST et N°NJ -31-V -82 OUEST –Echelle 1/25 000 e)	12
Figure. I. 2: Photo aérienne de la carrière prise par Google Earth	13
Figure. I. 3: Carte schématique de la carrière de Cerrou El Djoua réalisé par ORGM 1/1000 "rétrécie"	15
Figure. I. 4:coupes géologique schématique de la carrière de Cerrou El Djoua réalisé par ORGM 1/1000 "rétrécie"	15
Figure. II. 1: schéma technologique simple du traitement	19
Figure. II. 2: figure représentant l'essai d'équivalent de sable.	22
Figure. II. 3: l'appareillage de l'essai au bleu de méthylène.....	24

Liste des tableaux

Tableau. I. 1: les coordonnées du périmètre de la carrière.....	11
Tableau. II. 1: synthèse des résultats des différents essais sur le sable de la carrière de Cerrou El Djoua.....	20
Tableau. III. 1: les mélanges de l'essai au bleu de méthylène.	27
Tableau. III. 2: les différents mélanges pour les essais d'équivalent de sable.	28
Tableau. III. 3: résultats expérimentaux des essais au bleu de méthylène.....	28
Tableau. III. 4: résultats expérimentaux des essais d'équivalent de sable.	28
Tableau. III. 5: Les catégories de sols en France selon la valeur de VBS	29
Tableau. III. 6: Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable pour sable à béton.	30

INTRODUCTION GENERALE

Le sable est la ressource naturelle la plus utilisée au monde après l'air et l'eau. Il représente les 2/3 de la matière première pour fabriquer du béton qui sert à construire les autoroutes, les maisons, les bâtiments, les tunnels, les ponts, les barrages, etc.

Dans le monde, le sable représente la troisième ressource la plus utilisée avec plus de 15 milliards de tonnes extraites par an. Le sable fait partie des granulats. Il est utilisé pour la construction des maisons, des autoroutes mais aussi du verre, des lasers, etc.

Le sable est un produit que l'on trouve dans différents milieux (sablères, oued, concassé). Les granulats et les sables en particulier, sont à la base des matériaux de construction. La recherche pour l'amélioration des caractéristiques (mécaniques, chimiques, structurales, etc.) est de plus en plus développée. Pour preuve, dans le domaine des sables à béton, beaucoup d'efforts de recherche ont été réalisés sur les caractéristiques des liants hydrauliques (ciments, chaux, etc.) sur l'eau de gâchage et sur les adjuvants. Les granulats, quant à eux, n'ont pas particulièrement bénéficié de cette recherche.

Le sable joue un rôle très important lors de la fabrication du béton, car il influence à la fois les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci (durabilité et résistance) ; le choix des sables conditionne clairement le résultat final de la fabrication.

Cependant, Les sables utilisés dans les différents domaines ne sont pas tous propres, ils contiennent une proportion plus ou moins importante de l'argile fine nuisible qui peut réduire considérablement la qualité des matériaux.

Cette proportion relative d'impureté dans le sable peut être déterminée grâce à des essais.

Le stage effectué durant un mois à Bouira dans l'unité de Cerrou El Djoua, nous a permis de réunir toutes les données essentielles pour pouvoir réaliser ce projet .

Le besoin d'un produit conforme aux exigences du client nous conduit à une homogénéisation c'est-à-dire de déterminer les pourcentages des marnes et des calcaires.

La finalité de ce travail est de tenter de trouver une solution pour augmenter les réserves exploitées et les conventionner; il est nécessaire d'effectuer une exploitation sélective.

Dans ce cadre, nous avons structuré notre étude comme suit :

1. *Chapitre1* : Présentation de la carrière de Cerrou El Djoua
2. *Chapitre2* : La production et la qualité du sable de la carrière
3. *Chapitre 3* : Etude de la propriété du sable de la carrière

Présentation du Groupe COSIDER Carrières

COSIDER Carrières, filiale du GROUPE COSIDER, a été créé en 1995 ; son capital social s'élève à 745.500.000,00DA pour produire et commercialiser des granulats provenant de gisements de calcaires.

Elle dispose d'un potentiel important de concassage et broyage pour la production d'une gamme diversifiée des produits.

COSIDER Carrières veille en permanence à produire des granulats de très haute qualité, qui sont conformes aux normes internationales et nationales et qui sont destinés à être utilisés principalement dans les bâtiments, les voies ferroviaires les routes, travaux publics, travaux maritimes, barrage, aéroports....etc.

Elle dispose de plusieurs unités de production de calcaire (au total 15 unités) implantées principalement dans le Nord Algérien.

Présentation de l'unité de Cerrou El Djoua

L'unité de Cerrou El Djoua située notamment au Nord, est chargée de l'exploitation, la production et la commercialisation des granulats.

Le gisement de calcaire de Cerrou El Djoua a été mis en évidence, étudiée et évaluée entre 2000-2002.

En 2002, Cosider Travaux Publics installe la station de concassage ALICE d'une capacité de 300 tonnes/ heures.

Chapitre I : Présentation de la carrière de Cerrou El Djoua

I.1.Cadre naturel

I.1.1.Situation administrative et géographique

La carrière objet de cette étude dépend géographiquement de la wilaya de Bouira qui est située dans la partie centrale du Nord de l'Algérie.

De point de vue administratif, la carrière est située sur le lieu-dit Cerrou El Djoua ; Commune d'El Hachimia, wilaya de Bouira.

Les coordonnées du périmètre de la carrière sont présentées en système UTM (Nord Sahara) dans le tableau suivant :

Tableau. I. 1:les coordonnées du périmètre de la carrière.

Points	X	Y
1	578300	4007700
2	578700	4007700
3	578700	4006600
4	578300	4006600

La superficie du périmètre est de 44 ha.

La carrière Cerrou El Djoua se trouve à 5 km au Sud-est d'El Hachimia et de 20 km au Sud de la ville de Bouira.

L'accès à la carrière est assuré en empruntant une route goudronnée à partir du chemin de wilaya 97 reliant la commune d'El Hachimia à Hammam Kessana.

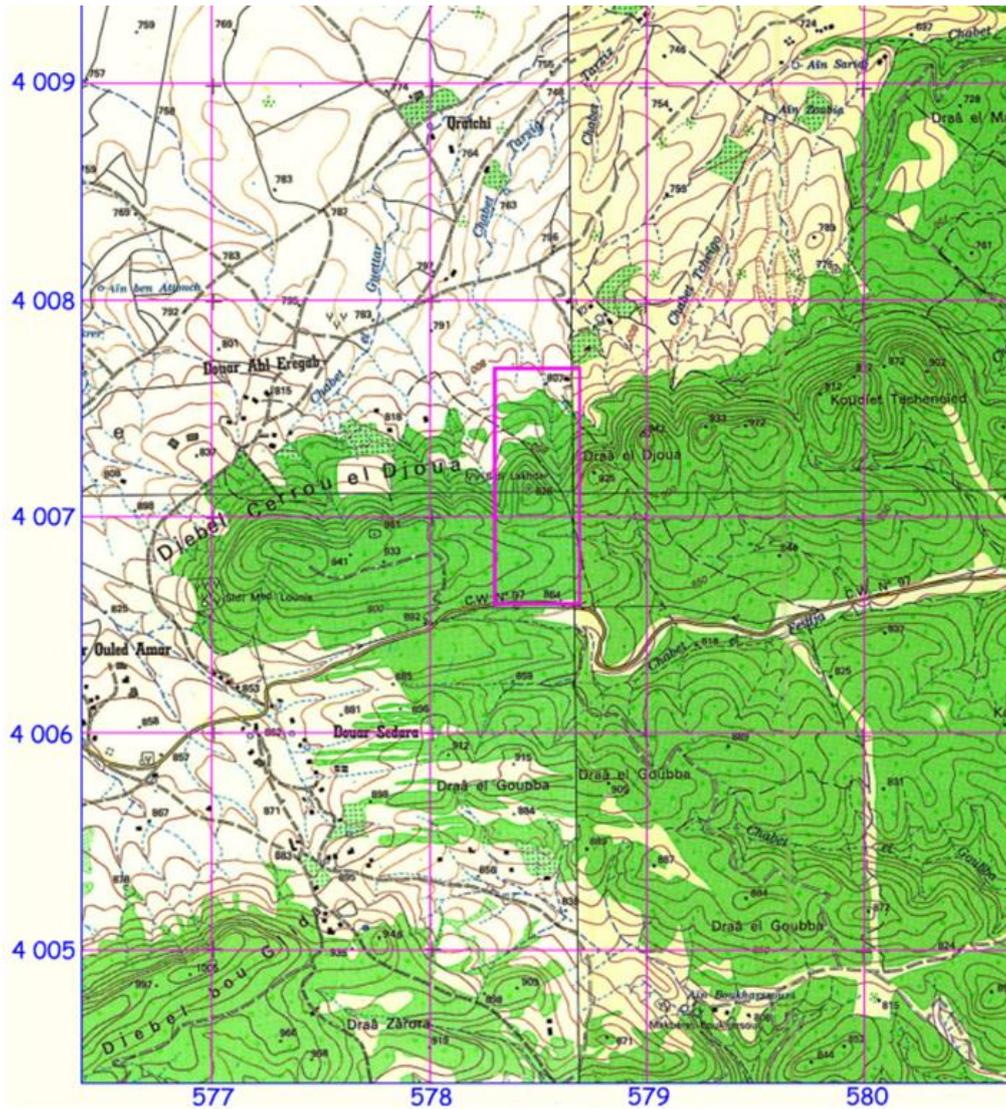


Figure. I. 1: Situation topographique de la zone d'étude (Extrait d'assemblage des cartes topographiques de Sour El Ghozlane N°NJ-31-IV-82 EST et N°NJ-31-V-82 OUEST –Echelle 1/25 000 e)

I.1.2. Géomorphologie

Le périmètre d'étude est situé dans la partie centrale du Nord de l'Algérie sur le versant Nord, d'une chaîne de montagnes. Les chaînons de Cerrou El Djoua s'étirent suivant une direction Nord Est-Sud Est. L'altitude varie de 880 à 930m. Au Nord s'étend une vaste plaine.



Figure. I. 2:Image satellitaire de la carrière prise par Google Earth en Mai 2017

I.2. Contexte Géologique

I.2.1. Géologie du gisement

La structure du gisement est assez simple ; elle est représentée par un monoclinale de direction Est Ouest avec des pendages doux 20° , plongeant vers le Sud. Le gisement est représenté par trois (03) assises :

1. Assise inférieure (Albien)

Il est représenté par une alternance d'argile schisteuse et marne, c'est une alternance d'une texture micro-granulaire, par suite de l'altération. Les sédiments à l'origine toujours gris foncé sont décolorés vers le gris clair ou beige et deviennent relativement tendre.

2. Assise moyenne (Vraconien)

Ce sont des calcaires gris foncé, micritique en banc de 10 à 30 cm avec de fins de marnes plus tendres.

Les calcaires sont découpés par de nombreuses diaclases remplies de calcite dont l'épaisseur moyenne est de 3 à 10mm ; rarement dans les zones tectoniques où elle atteint 50 à 60cm.

Cette formulation de calcaire est extrêmement résistante à l'altération et à l'érosion et constitue une espèce de chapeau sur les sommets et les flancs Sud des collines. Les limites de calcaire (du toit et du mur) sont très nettes.

L'épaisseur de cette formation est apparente dans les affleurements et les falaises naturelles, qui atteignent les 50m.

3. Assise supérieure (Cénomanién)

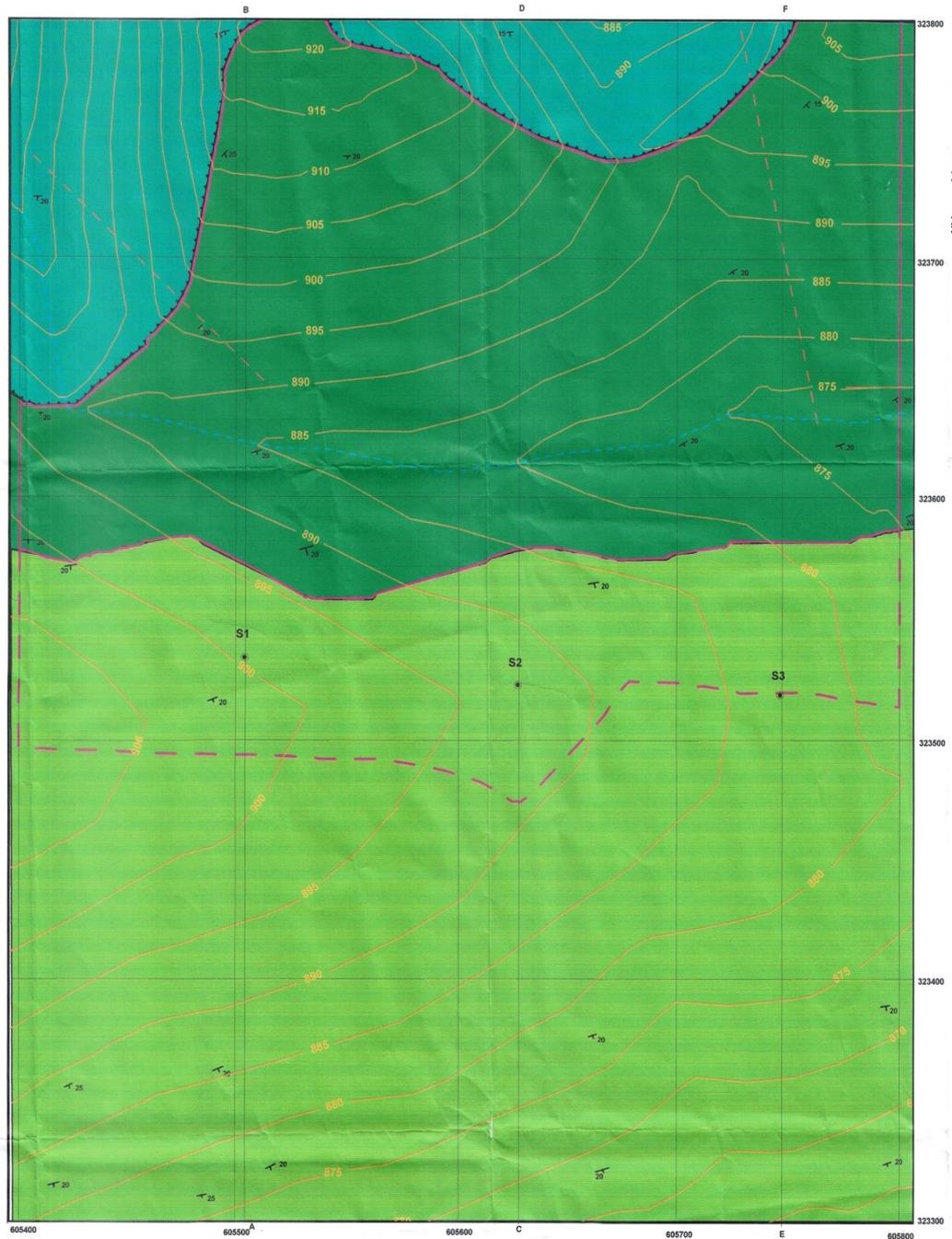
Constituée par des marnes, des calcaires marneux et calcaires gris noirâtres affleurant du Sud vers le Nord sur une largeur de 250m. L'épaisseur de cette assise est de 65m.

L'étude des faciès litho stratigraphiques du gisement a montré qu'il est constitué essentiellement par des calcaires (partie Sud du gisement) et des calcaires marneux (partie Nord du gisement).



CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU GISEMENT DE CALCAIRES DE CERROU EL DJOUA

ECHELLE : 1/1000



LEGENDE

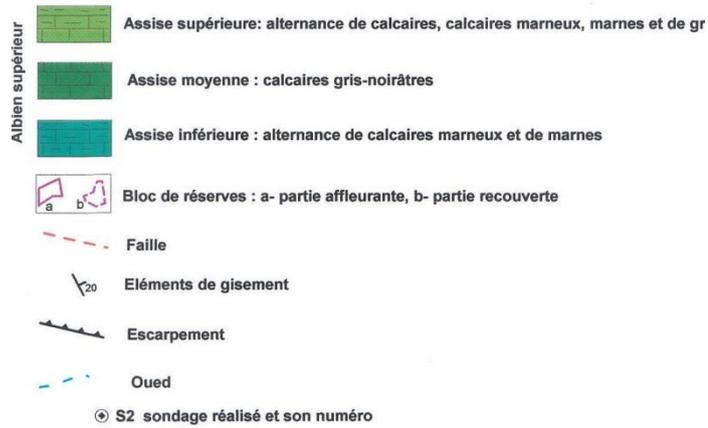


Figure. I. 3: Carte schématique de la carrière de Cerrou El Djoua réalisé par ORGM 1/1000 "rétrécie"

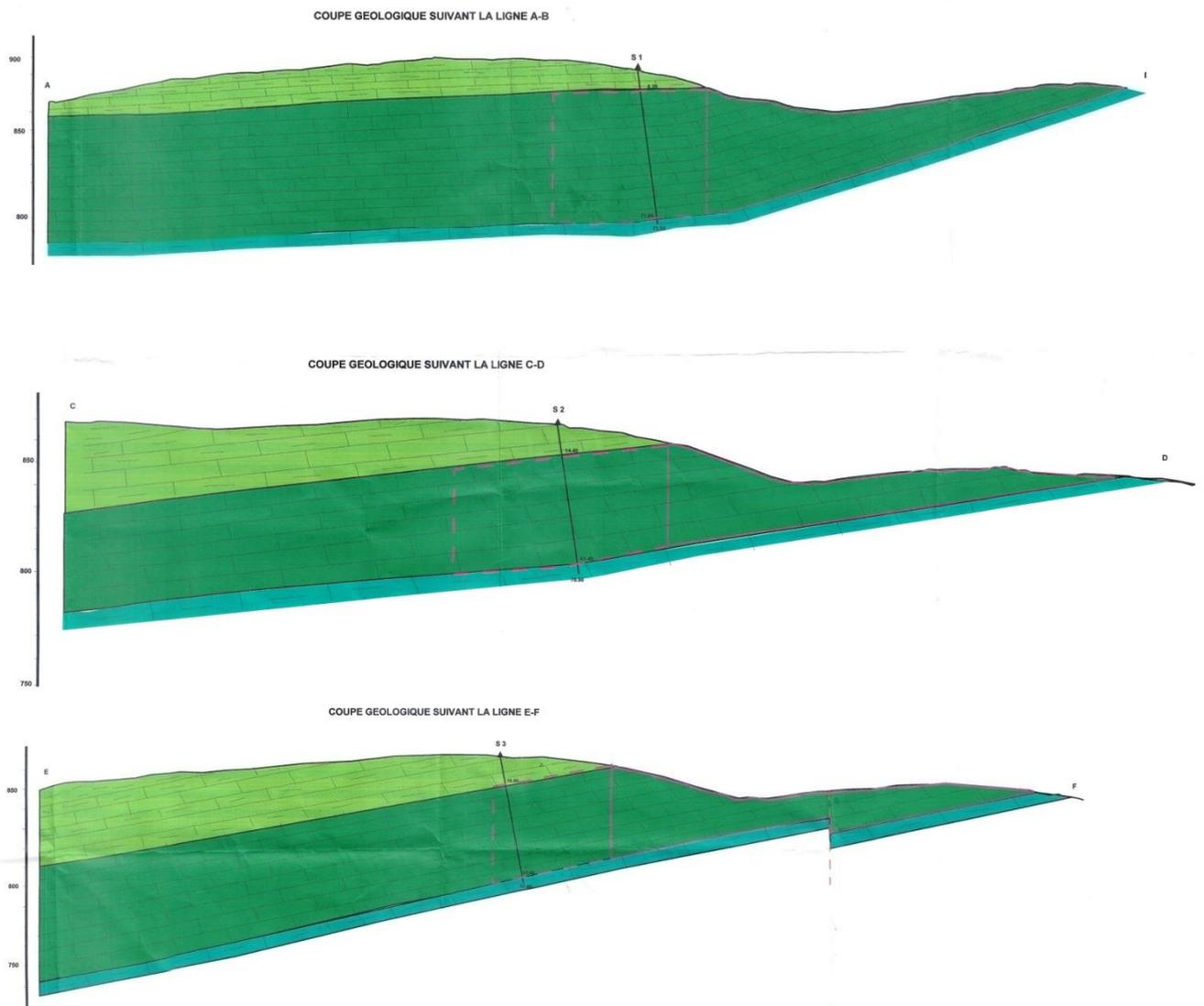


Figure. I. 4: coupes géologique schématique de la carrière de Cerrou El Djoua réalisé par ORGM 1/1000 "rétrécie"

I.3. Etat Des Réserves Géologiques (31/12/2016)

Les travaux de décapage et des fronts déjà ouverts ont permis de calculer les réserves en catégorie B1. Le contour inférieur du calcul des réserves est la cote 840m.

Les réserves géologiques estimées en catégorie B1 s'élèvent à 12 739 779 tonnes et à 4.899.915m³

Mais après avoir commencé les travaux d'exploitation, une autre estimation des réserves a été faite à cause de la partie Nord qui a été inexploitable en présence de plus de 50% des marnes.

Alors la nouvelle estimation des réserves géologiques a été calculée dans les limites définies par un périmètre de 10 hectares environ dans la partie Sud du gisement.

La limite inférieure est fixée au niveau 855 m (le niveau le plus bas des calcaires). Alors la limite inférieure fixée pour l'exploitation est 870 m. (altitude moyenne de la piste W127, située à la limite sud du périmètre).

Le niveau de base pris pour le calcul des réserves exploitables est le niveau 870 m.

Ce calcul a donné un volume de calcaires de **681 685 m³** soit **1 813 282 tonnes** de calcaires.

Chapitre II :la production et la qualité du sable de la carrière

II.1.Définition du sable

Du point de vue géologique, le sable est un matériau constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches et dont la dimension est comprise entre 0,063 et 2mm. Dans l'industrie des granulats, les sables sont des particules allant de 0 à 4mm.

A l'inverse, un sable concassé ne se comporte pas de la même manière.

Il correspond aux éléments inférieurs à 2 ou 4mm issus du broyage d'une roche massive (granite, gneiss ou autre). En fonction de la technologie de concassage utilisée, un sable concassé contient plus ou moins de fines inférieures à 63µm qu'il est possible de récupérer en modifiant le cyclonage. Un sable concassé est assez grossier, et la fraction supérieure à 1 mm est importante.

II.2.Le processus du Traitement du minerai

Le tout-venant de la carrière est chargé dans les camions qui les déversent dans la trémie de recette du poste primaire ; l'alimentateur associé à cette trémie déverse les roches dans le concasseur primaire (à mâchoire)

A la sortie de celui-ci, les matériaux fins et les impuretés friables accompagnant le tout venant de carrière sont éliminés par « Scalpage ».

Ces matériaux provenant des impuretés dues aux remplissages ferreux ou argileux des fissures ou de zones d'altération circonscrites se trouvent en presque totalité dans la fraction fine des produits d'abattage. Ces matériaux fins forment le stock des stériles.

Les matériaux concassés sont dirigés vers un stock primaire « pré-stock » ; une partie est vendue comme fraction 0/200 et l'autre partie sert aussi comme stock tampon entre l'activité du primaire et du secondaire.

La partie secondaire est alimentée à partir du pré-stock en passant par un tunnel à tablier vibrant qui déverse dans le broyeur secondaire (à percussion) fonctionnant en circuit fermé avec une charge circulante.

À la sortie du secondaire, le produit est criblé ainsi classé et calibré en donnant les granulats.

Finalement, ils sont dirigés par un système de bandes transporteuses vers les aires de stockage ou ils sont disposés en éventail pour leur reprise et leur commercialisation

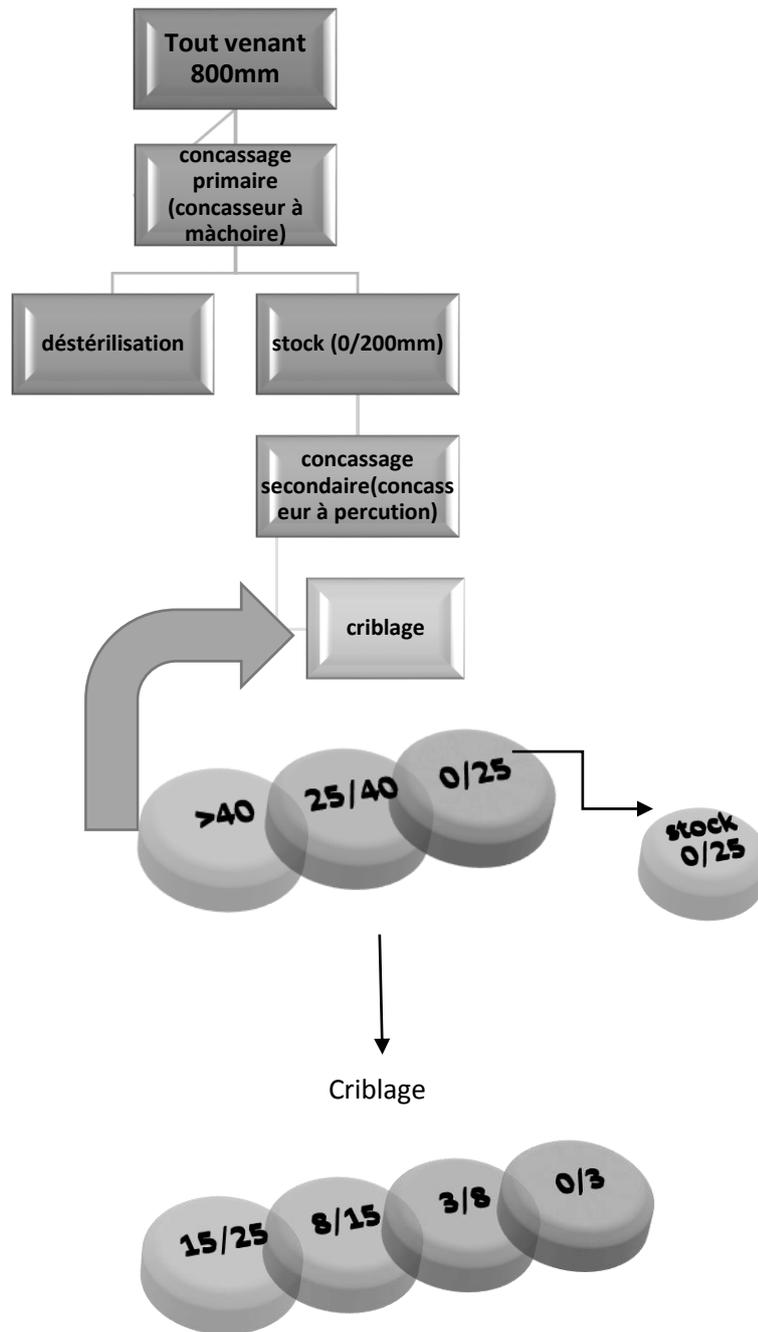


Figure. II. 1:schéma technologique de la production des granulats

Le schéma de la station de traitement est constitué principalement d'un concasseur primaire à mâchoires, avec élimination de fraction terreuses 0/20 et 0/30 et d'un second concasseur à percussion et de deux (02) cribles qui fournissent les produits finis suivants : 25/40,0/25,15/25,8/15,3/8 et 0/3.

Gamme de produits commercialisés par l'unité de Cerro El Djoua est :

- **Sable : 0-3 ; 0-4.**

- **Graviers : 3-8 ; 8-15 ; 15-25 ;**
- **Ballast : 25-40 ; 32-60 ;**
- **GNT : 0-20 ; 0-31,5 ; 0-40 ;**
- **Prés stock : 0-200 ;**
- **Stérile : 0-30 ;**

L'unité de Cerrou El Djoua dispose d'une station de recyclage pour la production de sable de concassage composée d'une trémie de réception et d'un broyeur à axe vertical. Cette station recycle généralement les produits inférieures à 60mm et notamment la tranche 3-60mm, ce qui donne un sable de concassage d'une teneur en fines ne dépassant pas 11%.

Tableau. II. 1:synthèse des résultats des différents essais effectués sur le sable sa la carrière de Cerrou El Djoua

essais	masse volumique apparente	masse volumique absolue	masse volumique réelle	module de finesse	Coef.de friabilité des sables	Teneur en fine	porosité
Sable 0/3	1,44	2,71	2,66	2,8	48	21,7	0,45

Le sable de la carrière est influé par les marnes notamment les argiles. Les argiles représentent la pollution la plus fréquente, leur présence entraîne toujours une diminution de résistance et il est prudent de ne pas dépasser les seuils limites spécifiés pour chaque technique.

II.3.Définition des impuretés(argiles)

L'argile fait partie de la famille des minéraux de type « phyllo silicates » hydratés qui se caractérisent par une superposition de feuillets. Toutes les argiles ou presque ont une taille $2\mu\text{m}$, et la majorité des minéraux inférieures à $2\mu\text{m}$ sont des argiles. Or, par abus de langage, une particule $2\mu\text{m}$ est appelée argile. De ce fait, il existe une multitude d'argile qui ont des propriétés bien différentes.D'où l'intérêt de bien déterminer celles qui sont présentes dans un gisement : la smectite et la vermiculte sont des argiles gonflantes à ne pas utiliser dans le béton ; l'illite est une argile simple ; la kaolinite est une argile très collante etc.

Les extra-fines sont des particules $63\mu\text{m}$.Les extra-fines de concassage sont des résidus fins provenant du broyage de roche. Ce ne sont pas des argiles, mais des matériaux nobles qui peuvent être présents dans un sable à béton à condition de respecter certaines proportions pour éviter une sur consommation d'eau.

Dans certaines proportions, la présence d'argile dans le sable produit des effets sur le béton. Au-delà d'une certaine quantité, l'argile absorbe une partie de l'eau du béton pour former une boue. Cette boue gênera l'adhérence du ciment avec les granulats. Le béton une

fois sec s'effrite et manque de résistance. En absorbant trop d'eau, l'argile en trop forte quantité, provoque un phénomène de retrait important par l'évaporation de l'eau.

II.4. Impact de la propreté du sable sur la formulation d'un béton

De trop fortes quantités d'extra-fines dans le sable provoquent :

- une diminution de l'adhérence des granulats à la pâte liante ;
- une augmentation du volume de la pâte liante et de la consommation d'eau totale, car les éléments fins absorbent plus d'eau lors de la formulation du béton.
- une augmentation de la consommation en ciment. Car davantage d'extra-fines impliquent plus de surface de grains et donc plus d'eau adsorbée, et par conséquent plus de ciment. Le rapport eau efficace/ciment(E/C) doit être stable pour chaque qualité de béton exigée

Pour éviter ces phénomènes il faut vérifier que le sable ne comporte pas une quantité d'argile nuisible au béton. L'argile apparaît comme une impureté dans le sable. La qualité du sable désigne alors sa propreté, c'est-à-dire la proportion de sable brut par rapport à l'argile. La vérification de la qualité du sable revient à vérifier sa propreté.

II.5. Vérification de la propreté des sables

La propreté des sables est évaluée par deux essais complémentaires.

L'équivalent de sable (codé SE sur le plan européen) et l'essai au bleu de méthylène (codé MB).

En utilisant l'essai d'équivalent de sable qui permet, selon un processus normalisé, de quantifier la notion de propreté d'un sable, en procédant par l'essai au bleu de méthylène qui permet d'évaluer le degré d'activité des particules fines argileuses, responsables dans une large mesure, du désordre et de non-qualité dans un béton [A. Georges et al, 1990].

II.5.1. Essai d'équivalent de sable

– Lieu du déroulement de l'essai

Les essais d'équivalent de sable ont été réalisés au sein du laboratoire d'habitat et de construction à SKIKDA

– But de l'essai

Cet essai a pour but de mesurer la propreté de matériaux fins. Il rend compte de façon globale de la quantité d'éléments fins contenus dans le matériau sans aucune distinction de nature.

– Principe de l'essai

L'essai consiste à déterminer le rapport volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. Il est effectué sur la fraction 0/2 du sable à étudié. On mesure les éléments suivant :

Hauteur h1 : sable propre+ élément fin

Hauteur h2 : sable propre seulement

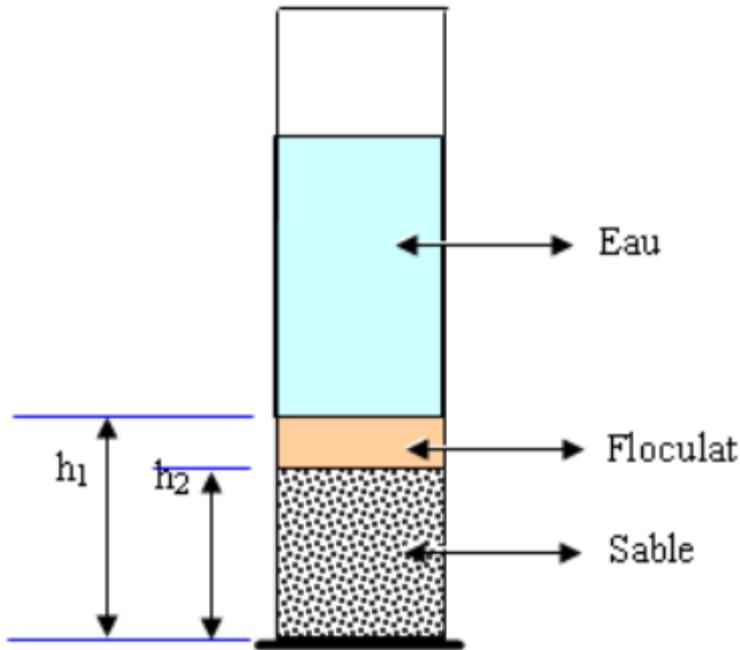


Figure. II. 2:figure représentant l'essai d'équivalent de sable.

L'essai dit d'équivalent de sable, permet de déterminer le degré de propreté du sable : Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston)

– **Description du matériel**

Le matériel pour réaliser cet essai comprend :

- Des éprouvettes en plexiglas avec deux traits repères et leur bouchon.
- Un entonnoir pour l'introduction du sable.
- Une bonbonne de 5 l avec bouchon, siphon et tube souple de 1.5m
- Un support de bonbonne.
- Un tube laveur métallique plongeant.
- Un réglet métallique pour la mesure des hauteurs de sable et de floculat.
- Un piston taré à masse coulissante de 1 kg pour la mesure de ES.

Pour réaliser l'essai, il est nécessaire de disposer également : -De doses de solution lavante. -Un tamis d diamètre 200 mm. -D'un chronomètre. -D'une machine à secouer.

– **Mode opératoire**

Au préalable il faut connaître le pourcentage de fines contenu dans l'échantillon soumis au test. Si le % de fines est supérieur à 10 %, la prise d'essai doit être corrigée et contenir 10 % de fines pour l'essai.

❖ Masse de la prise d'essai

On réalise sur un échantillon une teneur en eau. Une fois la teneur en eau effectuée, on calcule la masse d'essai nécessaire à l'essai selon le calcul :

$M \text{ nécessaire} = 120 (100+W) / 100$ avec W teneur en humidité en pourcentage).

On prend donc en réalité une masse de 120 g de sable sec avec une teneur en fines $\leq 10 \%$.

- Remplissage des cylindres gradués : On remplit le cylindre gradué jusqu'au premier trait avec la solution lavante.
- On y introduit la prise d'essai (à l'aide d'un entonnoir) puis on enlève les bulles d'air en tapotant le cylindre à la main. On procède de même avec le second cylindre.
- On attend alors 10 minutes.
- Agitation des cylindres A la fin de cette période, On bouche le cylindre avec un bouchon en caoutchouc puis on agite avec la machine d'agitation pendant 30 secondes.
- On remet le tube en position verticale puis on lave. Lavage En descendant le tube laveur, on rince les parois du cylindre avec la solution lavante, puis on traverse la prise d'essai pour descendre le tube laveur au fond du cylindre.
- On agite le contenu du cylindre pour favoriser la remontée des fines et des éléments argileux. Quand le niveau du liquide avoisine le trait supérieur, on relève lentement le tube laveur de façon à maintenir le liquide au niveau du trait supérieur.
- On lance le chronométrage quand le liquide est au trait supérieur. On fait de même avec le second cylindre et on laisse reposer les cylindres pendant 20 minutes sans dérangement ni vibration.
- Mesurages Après la période de repos, on mesure la hauteur h1 du niveau supérieur du floculat par rapport au fond du cylindre gradué

Mesure de la hauteur h1 On abaisse le piston dans le cylindre jusqu'à ce que l'embase repose sur le sédiment. On mesure h2, distance entre la face intérieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon Mesure de la hauteur h2 On fait de même pour le second cylindre.

❖ **Calcul de l'ES :**

On calcule le rapport $h2/h1 \times 100$ pour chaque cylindre arrondi à 0.1

L'équivalent de sable ES est la moyenne des 2 essais arrondi au nombre entier le plus proche.

- ✚ Si les deux valeurs obtenues diffèrent de plus de 4; l'essai n'est pas valide et doit être recommencer.

II.5.2.Essai bleu de méthylène

– Lieu du déroulement de l'essai

Les essais de bleu de méthylène ont été réalisés au sein du laboratoire du département du Génie Minier.

– Principe de l'essai

L'essai au bleu de méthylène est pratiqué sur la fraction granulaire 0/2mm des sables courants.

L'essai au bleu de méthylène dit A LA TACHE permet la détermination de l'activité et de la quantité de la fraction argileuse d'un échantillon.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement des quantités de solution de "bleu" et en contrôlant l'adsorption au fur et à mesure. Une goutte de suspension est prélevée et est déposée sur un filtre. L'essai consiste à déterminer l'adsorption maximale obtenue lorsque la tâche est entourée d'une auréole bleu-clair persistante.



Figure. II. 3:l'appareillage de l'essai au bleu de méthylène.

– **Mode opératoire**

- Prélever une masse minimale sèche $m=200\text{g}$ de la prise d'essai 0/2mm
- Verser $500\text{ml} \pm 5\text{ml}$ d'eau distillé dans le bécher de capacité de 1L
- Agiter la solution à la vitesse de 600tr/min pendant 5min, puis agiter continuellement à 400tr/min pendant la poursuite de l'essai.
- Injecter le colorant à l'aide d'une burette
- Effectuer un teste à la tâche à l'aide d'une tige de verre
- Confirmer le point final en répétant le teste à la tache toutes les minutes pendant 5min sans ajout de solution de colorant.

La valeur de bleu de méthylène MB, est exprimée en gramme de colorant par kilogramme de fraction 0/2mm est obtenue par la formule suivante :

$$MB = 10 \times \frac{V_1}{M_1}$$

Où :

M_1 : la masse de l'échantillon en grammes (g)

V_1 : le volume total de solution de colorant injectée en millilitres (ml)

CHAPITRE III :étude de la propreté du sable de la carrière

III.1.Préparation des mélanges

- **Echantillonnage**

L'échantillonnage a été réalisé en surface. La quantité prélevée est de 6 sacs de 50Kg (3sacs de calcaires et 3 sacs de marnes). Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'analyses chimiques MB et ES, réalisés au niveau du laboratoire du département génie minier à L'ENP et au sein de laboratoire de construction et d'habitat de l'Est.

- **Préparation mécanique**

- Concassage primaire du tout-venant échantillonné à l'aide d'un concasseur à mâchoire au niveau du laboratoire de Génie-Minier.
- Concassage secondaire à l'aide d'un concasseur à cône pour minimiser la taille des granulats
- Tamisage avec un tamis de classe granulaire 0/2 pour avoir une prise d'essai conforme à la norme de l'essai au bleu de méthylène.

- **Lavage et séchage**

- Utiliser un tamis de 63 µm réservé à l'usage exclusif de cet essai, et adapter un tamis de protection au-dessus. Placer les tamis de façon que la suspension passant à travers le tamis puisse être évacuée.
- Verser le contenu du récipient sur le tamis supérieur.et placé les sous le robinet, ensuite agiter la prise d'essai vigoureusement pour séparer complètement et mettre en suspension des fines. Poursuivre le lavage jusqu'à ce que l'eau passant à travers le tamis de 63 µm soit claire.
- Sécher le refus sur le tamis de 63 µm à (105 ± 5) °C jusqu'à ce que la masse soit constante. Laisser refroidir,

Afin d'extraire un échantillon représentatif on a utilisé le diviseur rotatif pour la classe granulaire 0/2

Tableau. III. 1:les mélanges de l'essai au bleu de méthylène.

Mélange Essai	00	01	02	03	04	05	produit
MB	200g	100g	133g	150g	50g	0g	calcaire
	0g	100g	67g	50g	150g	200g	marne

Tableau. III. 2:les différents mélanges pour les essais d'équivalent de sable.

Mélange Essai	00	01	02	03	04	05	produit
ES	120g	60g	80g	90g	30g	0g	calcaire
	0g	60g	40g	30g	90g	120g	marne

Tableau. III. 3:résultats expérimentaux des essais au bleu de méthylène.

site d'échantillonnage	Code de l'échantillon	Fraction Utilisée (mm)	Masse Initiale (g)	Volume injecté (ml)	MB
Carrière de Cerrou El Djoua	00	0/2	200	20	1
	01			40	2
	02			10	0.5
	03			25	1.25
	04			39	1.95
	05			45	2.25

Tableau. III. 4:résultats expérimentaux des essais d'équivalent de sable.

site d'échantillonnage	Code de l'échantillon	Fraction Utilisée (mm)	Masse Initiale (g)	ES
Carrière de Cerrou El Djoua	00	0/2	120	83
	01			79
	02			72
	03			82
	04			69
	05			59

III.2. Interprétation des résultats de l'essai de MB

La valeur de bleu reflète en fait à la fois la qualité et la quantité de la fraction argileuse d'un sol, mais ne pourra pas préciser si c'est de la kaolinite ou de la montmorillonite que l'échantillon contient, ni la quantité exacte de tel ou tel minéral, argileux, amorphe, ou inerte. Il ne s'agit donc pas de remplacer l'analyse minéralogique par l'essai au bleu.

Plus la valeur au bleu est élevée, moins le sable est propre. Les préconisations sont variables selon l'usage des sables ou gravillons et selon les pays. Pour les granulats employés en construction routière, la valeur au bleu de méthylène (MB) doit être inférieure à 2,5 g de fine par kg (les fines étant comprises entre 0 et 2 mm),

D'après les résultats ; les valeurs de MB des différents mélanges préparés sont inférieures à 2,5

D'après le Guide des Terrassements Routiers, six catégories de sols sont définies en France selon la valeur de V_{BS} :

Tableau. III. 5: Les catégories de sols en France selon la valeur de VBS

Valeur de bleu de méthylène (V_{BS})	Catégorie de sol
$V_{BS} < 0,1$	sol insensible à l'eau
$0,2 \leq V_{BS} < 1,5$	sol sablo limoneux, sensible à l'eau
$1,5 \leq V_{BS} < 2,5$	sol sablo argileux, peu plastiques
$2,5 \leq V_{BS} < 6$	sol limoneux de plasticité moyenne.
$6 \leq V_{BS} < 8$	sol argileux.
$V_{BS} > 8$	sol très argileux.

En comparant nos résultats avec les valeurs de bleu de méthylène mentionnée dans le tableau ci-dessus on peut dire que :

Les échantillons 00,02,03 présentent des sols limoneux, sensible à l'eau.

Les échantillons 01,04,05 présentent des sols sablo argileux, peu plastique

III.3. Interprétation des résultats d'équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable effectué est l'essai avec piston ;

D'après le tableau mentionné ci-dessous et les résultats de l'essai d'équivalent de sable :

Les valeurs de l'équivalent de sable des différents mélange sont de 69 jusqu'au 83 et en comparant ces résultats avec le tableau ci-dessous on peut dire que l'échantillon 05 qui

représente les marnes alors c'est un sable argileux (risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour béton de qualité.

Les mélanges 01 et 02 sont des sables propres à faible pourcentage de fines argileuses.

L'échantillon 00 qui est du calcaire est un sable très propre

L'échantillon 03 aussi est un sable très propre.

Tableau. III. 6:Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable pour sable à béton.

ES<60 Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60≤ES<70 Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait
70≤ES < 80 Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES >80 Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

III.4.Optimisation des résultats

✚ Après les essais faits sur les mélanges pour assurer la conformité des granulats (les essais de LOS ANGELES et MICRO DEVAL HUMIDE.)

Une étude sur le sable est réalisée en effectuant des différents essais pour déterminer la propreté d'un sable (essai au bleu de méthylène et essai d'équivalent de sable)

Suite aux essais effectués sur les mélanges calcaires- marnes, une optimisation de la quantité de calcaire nécessaire pour avoir un mélange satisfaisant les normes standards Algérienne et Européenne.

Pour réaliser cette optimisation, je me suis basée sur le logiciel plan des expériences Design Expert 7.

Cette optimisation est faite à fin de confirmer le pourcentage des calcaires et marne du tout-venant trouvé (Le tout-venant de la carrière doit contenir au moins 85% de calcaire et au plus 15% des marnes) .C'est à dire on cherche à savoir si ces pourcentages vont aussi donner un sable propre et conforme aux normes

✚ Les étapes de l'optimisation

- Définir le nombre de facteurs nécessaires (ici on a choisi 2²)
- Nommer les facteurs et insérer ses limites maximum et minimum sans oublier de mentionner l'unité(le facteur 1 c'est le coefficient d'équivalent de sable, le facteur 02 c'est le coefficient de bleu de méthylène et la réponse c'est la masse du calcaire en gramme
- Indiquer le nombre de réponses, le nom et leurs unités.

	Std	Run	Block	Factor 1 A:MB	Factor 2 B:ES	Response 1 MC g
	3	1	Block 1	1.00	83.00	200
	2	2	Block 1	2.00	79.00	100
	6	3	Block 1	0.50	72.00	133
	1	4	Block 1	1.95	82.00	150
	4	5	Block 1	1.25	69.00	50
	5	6	Block 1	2.25	59.00	0

Figure.III.1 : le modèle réel appliqué

- ❖ Le facteur n°01 représente les valeurs de l'essai de bleu de méthylène, effectué sur les 06 échantillons.
- ❖ Le facteur n°02 représente les valeurs de l'essai de l'équivalent de sable, effectué sur les 06 échantillons.
- ❖ La réponse n°01 représente la masse du calcaire (MC) en gramme, utilisée dans les 06 échantillons et c'est la variable à optimiser.
- ❖ La valeur maximale de MB et SE sont respectivement 2,25 et 83 codé +1
- ❖ La valeur minimale de MB et SE sont respectivement 0,5 et 59 codé -1
- ❖ La valeur minimale de la masse de calcaire est 0 gramme et la valeur maximale est de 200g.

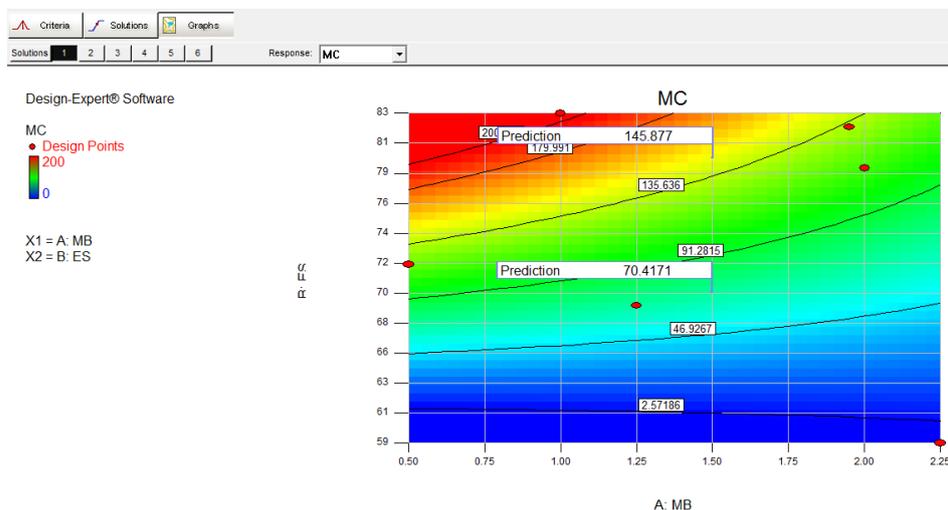


Figure III. 2. : Résultat de l'optimisation.

- Dans cette optimisation, on s'est basé sur la valeur de bleu de méthylène exigé en France. Afin d'avoir un sol sablo limoneux non argileux $MB < 1,5$.
- Afin d'avoir un sable de qualité $ES < 80$ pour un sable à béton de qualité.

✓ **Solution optimale**

La quantité minimale de calcaire qu'on peut utiliser dans un mélange de 200g de calcaire-marne doit être $< 146g$ pour que leur coefficients de MB et SE soient dans la norme ($MB < 1,5$; $SE < 80$).

✓ **Détermination des pourcentages calcaire-marnes**

Pour un mélange de 5000g :

200g \longrightarrow 100%

146g \longrightarrow X%

Pourcentage des calcaires = 73%

Pourcentage des marnes : $100\% - 73\% = 27\%$

✓ **Commentaire**

Le tout-venant de la carrière doit contenir au moins 73% de calcaire et au plus 27% des marnes pour répondre aux exigences normatives.

D'après la solution optimale trouvée, le tout-venant de la carrière doit contenir au moins 73% de calcaire et au plus 27% de marne.

En comparant ces pourcentages avec les pourcentages obtenus précédemment (au moins 85% calcaires et au plus 15% de marnes) on peut conclure que :

Si le tout-venant de la carrière contient au moins 85% calcaires et au plus 15% de marnes, les granulats et le sable produits répondent aux exigences normatives.

Conclusion générale

Vue l'abondance des réserves des marnes dans la carrière de Cerrou El Djoua, une exploitation sélective des calcaires et des marnes est nécessaire voir même recommandée.

Notre étude s'est basée sur des essais qui déterminent la propreté du sable (MB, SE) sur six (06) mélanges de masse bien déterminée qui nous ont conduit à une estimation des pourcentages des deux substances.

Cette étude nous a permis de confirmer les pourcentages obtenus après l'exécution des essais physico-mécanique sur les granulats

L'étude de la propreté du sable sur les 06 échantillons nous a permis de contrôler la qualité du sable obtenus si le tout- venant de la carrière est constitué principalement de 85% de calcaire au minimum et 15% de marne au plus.

En utilisant ces pourcentages, on peut assurer une exploitation sélective qui permet d'améliorer et augmenter la valeur le processus d'exploitation de l'unité

BIBLIOGRAPHIE

- Aide au choix des granulats pour chaussées basée sur les normes européennes, N°24 Avril 2013. [Norme en lignes IANOR](#)
- Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats (Partie 9 : Qualification des fines — Essai au bleu de méthylène). Norme européenne, norme française, NF EN 933-9, Août 1999. [NORMES en ligne IANOR](#)
- Granulats, éléments de définition, conformité et codification. norme française, NF P 18-545, Septembre 2011.
- **Rapport géologique actualisé** du gisement de calcaires de Cerrou El Djoua , Commune d'El Hachimia (W- BOUIRA) réalisé par TGM services MINES CARRIERES & ENNVIRONNEMENT ,en Mars 2015
- Rapport de l'étude géologique du gisement de Cerrou El Djoua effectuée par l'ORGM en 2003
- Projet fin d'étude présenté en vue de l'obtention du titre en licence science et techniques, spécialité physico chimie des matériaux sous le thème : L'influence de l'origine du sable et la taille de ses grains sur les produits finis ; réalisé par BOUHARAS FATIMA EZZAHRA ; AJOUGUIM SOUKHINA en juin 2012, faculté des science et technologique MARRAKECH
- RAPPORT D'ESSAIS N°R/LCM_B_292 :2016 : prélèvement et analyse physico-mécaniques et chimiques sur matériaux de carrière élaboré par le laboratoire de construction des matériaux au sein de Cosider travaux publique
- Valorisation des sables, article d'un journal diffusé en octobre 2013.
- Projet pour l'obtention du Master, Spécialité: Génie Civil, **Université KASDI Merbah de Ouargla ,Faculté des Sciences et de la Technologies et Sciences de la Matière, Département d'Hydraulique et Génie Civil sous le thème :Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes ; réalisé par AYACHI Amor Mohamed en 2011**
- Mémoire de Magistère, Filière : **Aménagement Hydraulique et Génie Civil, Option: Génie Civil, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR, DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET GENIE CIVIL** : Contribution à la valorisation du sable de dune dans la formulation du béton destiné aux ouvrages hydrauliques en milieu sahariens réalisé par BOUHNIAK Brahim en février 2007.

Annexe01

Préparation de la solution lavante

La solution lavante est composée, pour une quantité de 1 litre, de :

- 219 g de chlorure de calcium cristallin, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ou 111 g de chlorure de calcium anhydre, CaCl_2 ;
- 450 g de glycérine à 99 % de glycérol, de qualité de réactif pour laboratoire ;
- 12,5 g formaldéhyde en solution, 40 % en volume, de qualité de réactif pour laboratoire ;
- 350 ml eau distillée ou déminéralisée.

L'opérateur dissout le chlorure de calcium cristallin dans les 350 ml d'eau distillée ou déminéralisée. Il laisse refroidir à température ambiante et, si nécessaire, il filtre à l'aide d'un papier à filtrer à grosses ou moyennes mailles. Il ajoute la glycérine et le formaldéhyde en solution et dilue à 1 l de solution avec de l'eau distillée ou déminéralisée, puis il mélange vigoureusement.

Une solution lavante, obtenue en diluant 125 ml de solution concentrée dans 5 l avec de l'eau distillée ou déminéralisée, est également préparée.

Annexe 02

Préparation de la solution de bleu de méthylène

- □ Préparer la solution de colorant à 10 g/l conformément à l'essai au bleu de méthylène
- Utiliser du bleu de méthylène ; (C₁₆H₁₈CIN₃S, nH₂O (n = 2 à 3), pureté 98,5 %)
- Déterminer la teneur en eau, W, de la poudre de bleu de méthylène de la manière suivante
- Peser environ 5 g de poudre de bleu de méthylène et noter la masse Mh à 0,01 g près.
- Sécher la poudre à (100±5) °C jusqu'à masse constante.
- Refroidir dans le dessiccateur, peser immédiatement après retrait du dessiccateur. Noter la masse sèche, Mg, à 0,01 g près.
- Calculer et noter la teneur en eau, W à la décimale près, à l'aide de l'équation suivante:
- $W = Mh - Mg / Mg$
- où :
- Mh est la masse de la poudre de bleu de méthylène, en grammes ;
- Mg est la masse sèche de la poudre de bleu de méthylène, en grammes.
- La teneur en eau doit être déterminée lors de la préparation de chaque nouveau lot de solution colorée.
- Prélever une masse de poudre de bleu de méthylène égale à $[(100 + W)/10 \text{ g}] \pm 0,01 \text{ g}$ (équivalente à 10 g de poudre sèche).
- Chauffer 500 ml à 700 ml d'eau distillée ou déminéralisée dans un bécher. La température n'excédant pas 40 °C.
- Agiter le contenu du bécher en ajoutant lentement la poudre de bleu de méthylène dans l'eau chaude.
- Continuer l'agitation pendant 45 min, jusqu'à dissolution complète de la poudre puis laisser refroidir jusqu'à environ 20 °C.
- Transvaser dans une fiole d'une capacité d'un litre. Rincer avec de l'eau distillée ou déminéralisée pour s'assurer que la totalité du colorant a été versée dans la fiole. S'assurer que la fiole et l'eau sont à la température de (20 ±1) °C conformément à la capacité de la fiole et ajouter de l'eau distillée ou déminéralisée jusqu'à la graduation de 1 l.
- Secouer la fiole pour s'assurer de la complète dissolution et verser le contenu dans un flacon de conservation en verre teinté.