



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE MINIER

Mémoire de fin d'étude

pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en Génie Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Thème



Encadré par : Mr A. SEBAI

Présenté par : Mr AISSAT Fatch

Promotion : Septembre 2000

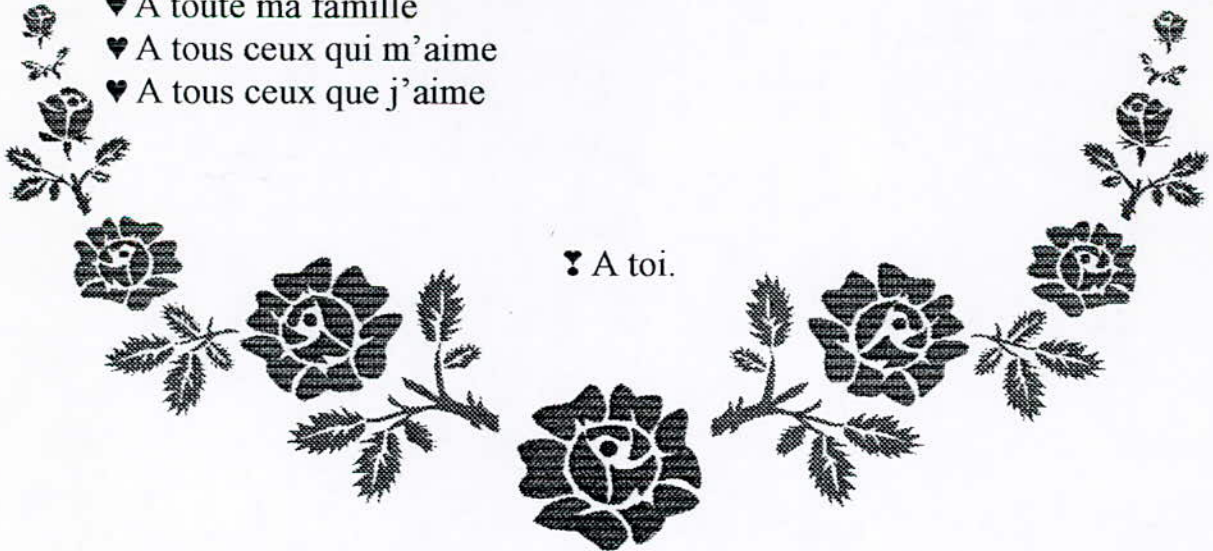
ENP- 10, Avenue Hassène Badi EL-HARRACH Alger



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- ♥ La personne qui m'est la plus chère au monde : ma mère
- ♥ A celui qui m'a élevé et veillé sur ma tranquillité : mon cher père
- ♥ A mes chers frères : Mohamed, Abderrahmane, Djellali et la petite Asma, et spécialement à Lyes et Messaoud
- ♥ A la mémoire de ma sœur « Kheira »
- ♥ A toute ma famille
- ♥ A tous ceux qui m'aime
- ♥ A tous ceux que j'aime



♥ A toi.

Remerciement

- Je remercie tout d'abord ALLAH de m'avoir porté assistance.
- Je tiens aussi à remercier mon promoteur Mr A .SEBAI pour son soutien, et son aide dans l'élaboration de ce travail.
- Je remercie très sincèrement, et au fond de mon cœur
 - ⊗ Mr BELKABLA de l'INFRAFER ;
 - ⊗ Mr K.AISSAT et Mr M.BENAMEUR de la SNTF ;
 - ⊗ Melle L.CHEKLAT, la chargée du centre de documentation de SNTF ;
 - ⊗ Mr K.DAHLEB de l'EIF (Engineering Infrastructure Ferroviaire) ;
 - ⊗ Mr BRAHIMI, le responsable des stages, INOF;
 - ⊗ Le responsable du service des mines, BLIDA;
 - ⊗ Tous le personnel de la carrière Kéddara ;
 - ⊗ Tous le personnel de la carrière Ahmer El-Ain;
 - ⊗ Tous le personnel du LCTP.
- Mes remerciements vont également aux enseignants du département Génie Minier qui ont contribué à ma formation et en particulier le chef du département Mme CHABOU.
- Et en fin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

Résumé

Ce travail est consacré à l'étude géologique et géotechnique du ballast utilisé par les chemins de fer Algériens avec une illustration de deux carrières, Kéddara à Boumerdes et Ahmer El-Ain à Blida. Des essais de dureté ont été réalisés au LCTP sur les échantillons provenant des carrières citées ci-dessus.

Les résultats obtenus sont acceptables par rapport aux normes nationales, néanmoins, la dureté de ces roches reste médiocre relativement aux normes internationales.

Mots-clés : Ballast, Carrière, Structure d'assise, dureté.

Abstract

This work is dedicated to the geological survey and geotechnique of the ballast used by the Algerians railroads with an illustration of two careers, Keddara at Boumerdes and Ahmer El-Ain at Blida. Tests of toughness have been achieved at the LCTP on samples coming above of the quoted careers.

The gotten results are acceptable with regard to the national norms, nevertheless, the toughness of these rocks remains relatively mediocre to the international norms.

Keys-Word : Ballast, Career, Structure of foundation, toughness.

ملخص

هذا العمل مكرس للدراسة الجيولوجية و الجيوتقنية للبالست المستعمل في خطوط السكك الحديدية الجزائرية مع تمثيل لمحجر قدارة ببومرداس و محجر أحمر العين بالبلدية و قد أجريت تجارب صلابة في مخابر م.م.أ.ع على عينتين مأخوذتين من هذين المحجرين.

النتائج المتحصل عليها هي مقبولة بالنسبة إلى المعايير الوطنية إلا أن صلابة هذه الصخور تبقى متواضعة بالنسبة للمعايير العالمية.
الكلمات المفتاحية : بالست، محجر، البنى القاعدية، صلابة.

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PAGE

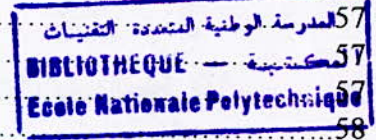
Introduction	01
Chapitre I : La voie ferrée et les structures d'assise	
I-1- Aperçu général sur la voie ferrée.....	02
I-1-1- Définition de la voie ferrée.....	02
I-1-2- Efforts supportés par la voie ferrée.....	02
I-2- Les couches d'assise.....	03
I-2-1- La couche de ballast.....	03
I-2-2- La sous couche.....	04
I-2-3- La plate-forme.....	05
I-3- Rôle des structures d'assise.....	06
I-4- Dimensionnement des structures d'assise selon les caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques de la plate-forme.....	06
I-4-1- Classes de qualité des sols.....	06
I-4-2- Capacité des structures d'assise à la portance.....	07
I-4-3- Les types des structures d'assise.....	08
Chapitre II : Propriétés et rôle du ballast	
II-1- Nature du ballast.....	13
II-2- Propriétés du ballast.....	13
III-3- Le rôle du ballast.....	14
Chapitre III : Détériorations et entretien du ballast	
III-1- Introduction.....	15
III-2- Détérioration du ballast par usures mécaniques.....	15
III-2-1- Usures dues aux véhicules et à la voie.....	15
III-2-2- Usures dues aux techniques d'entretien.....	15
III-2-3- Usures dues aux défauts de nivellement et de bourrage.....	15
III-2-4- Usures dues aux modifications des conditions d'exploitation.....	16
III-2-5- Usures dues aux défauts du matériel de la voie.....	16
III-2-6- Usure au droit des joints.....	16
III-2-7- Usures dues aux produits transportés ou déversés sur la voie.....	17
III-2-8- Usures dues à la structure de la plate-forme.....	17
III-3- Détérioration des caractéristiques du ballast par pollution.....	17
III-3-1- Pollution par les fines.....	17
III-3-2- Pollution par le sable dans les zones côtières et désertiques.....	18
III-3-3- Pollution par les produits transportés.....	19
III-3-4- Pollution par la végétation.....	20
III-3-5- Pollution due aux zones industrielles.....	20
III-4- Détérioration des caractéristiques du ballast par altération.....	20
III-5- Entretien du ballast.....	21
Chapitre IV : Les caractéristiques physico-mécaniques du ballast	
IV-1- Les caractéristiques physiques.....	22
IV-1-1- Granulométrie.....	22
IV-1-2- Forme des granulats.....	22
IV-1-3- Homogénéité des granulats.....	23
IV-1-4- Propreté des granulats.....	23
IV-1-5- Conclusion.....	23
IV-2- Les caractéristiques mécaniques.....	23

IV-2-1- Résistance à l'attrition.....	24
IV-2-2- Résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats.....	26
IV-2-3- Dureté relative globale.....	27
IV-2-4- Essai à la compression.....	28
Chapitre V: Les caractéristiques géologiques du ballast	
V-1- La pétrographie.....	30
V-1-1- La composition minéralogique.....	30
V-1-2- La texture.....	31
V-1-3- L'altération.....	32
V-2- La tectonique.....	33
V-3- Conclusion.....	33
V-3-1 Carrière à ballast hétérogène.....	33
V-3-2- Carrière à ballast non propre.....	34
Chapitre VI: Exploitation de la carrière de Kédara	
VI-1- Situation géographique de la carrière.....	36
VI-2- Les formations sédimentaires.....	36
VI-2-1- Généralités.....	36
VI-2-2- Stratigraphie du gisement.....	36
VI-3- Les formations magmatiques.....	38
VI-4- Tectonique.....	38
VI-5- Hydrogéologie.....	39
VI-6- Technique d'exploitation.....	39
VI-6-1- Méthode d'exploitation.....	39
VI-6-2- Rentabilité de la méthode.....	40
VI-6-3- Méthodes d'extraction et d'abattage.....	40
VI-7- Production de la station secondaire.....	41
VI-8- Traitement.....	45
VI-8-1- Le Primaire.....	45
VI-8-2- Le Stock tampon.....	45
VI-8-3- Le secondaire.....	45
Chapitre VII: Exploitation de la carrière de Ahmer El-Ain	
VII-1- Situation géographique.....	48
VII-2- Aperçu géologique.....	48
VII-3- Conditions d'exploitation.....	48
VII-4- Production et rendement.....	48
VII-5- Traitement.....	49
VII-5-1- La station de traitement N°1.....	49
VII-5- 2- La station de traitement N°2.....	50
VII-6- Conclusion et recommandations.....	50
Chapitre VIII: Etude expérimentale	
VIII-1- Carrière de kédara.....	51
VIII-1-1- Expérimentation.....	51
VIII-1-2- Interprétation des résultats.....	52
VIII-2- Carrière de Ahmer El-Ain.....	54
VIII-1-1- Expérimentation.....	54
VIII-1-2- Interprétation des résultats.....	56



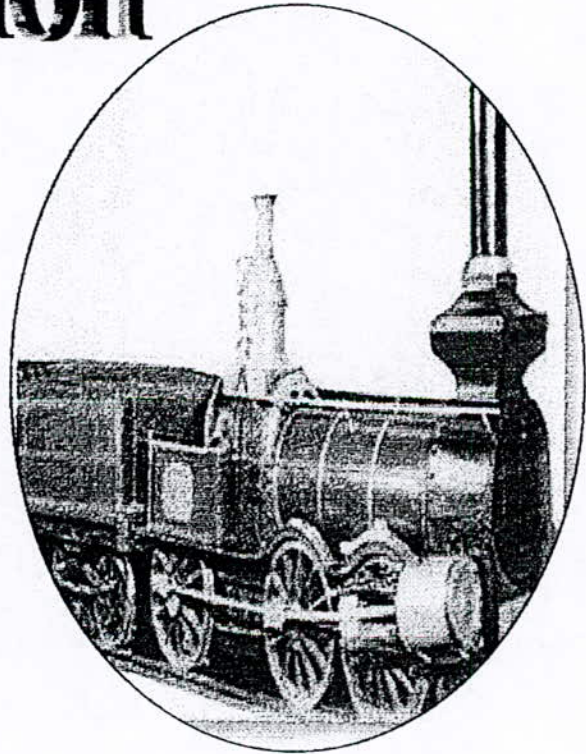
Chapitre IX: Conclusion

IX-1- Contribution de la géologie à l'amélioration de la qualité du ballast.....	57
IX-2- Les roches sédimentaires.....	57
IX-2-1- Les calcaires de l'Aptien néritique.....	57
IX-2-2- Les calcaires dolomitiques.....	57
IX-3- Les roches magmatiques.....	57
IX-3-1- Tectonique.....	58
IX-3-2- Pétrographie.....	58
IX-3-3- Economie.....	58
IX-4- Les roches métamorphiques.....	58
Bibliographie	59



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction



INTRODUCTION

Le ballast est un élément important dans la constitution de la voie ferrée. D'autre part, l'augmentation de la vitesse des trains et l'amélioration continue du confort des voyageurs, exigent une meilleure qualité du ballast.

Ces exigences toujours croissantes concernant le ballast ont entraîné une actualisation des directives appliquées concernant ce dernier, par les différents réseaux de chemins de fer. Aussi, parmi les préoccupations actuelles des chemins de fer algériens est l'amélioration de qualité de ce ballast. Or, la qualité des roches utilisées actuellement est le plus souvent moyenne à médiocre.

Ce problème est dû principalement à l'absence d'études géologiques détaillées des carrières actuellement exploitées, au manque de carrières spécialisées dans l'exploitation exclusive des granulats de ballast et d'un laboratoire d'étude de la qualité de ce ballast au niveau des entreprises ferroviaires.

Ainsi, le présent travail a pour objet d'apporter une contribution modeste pour essayer de résoudre ce problème.

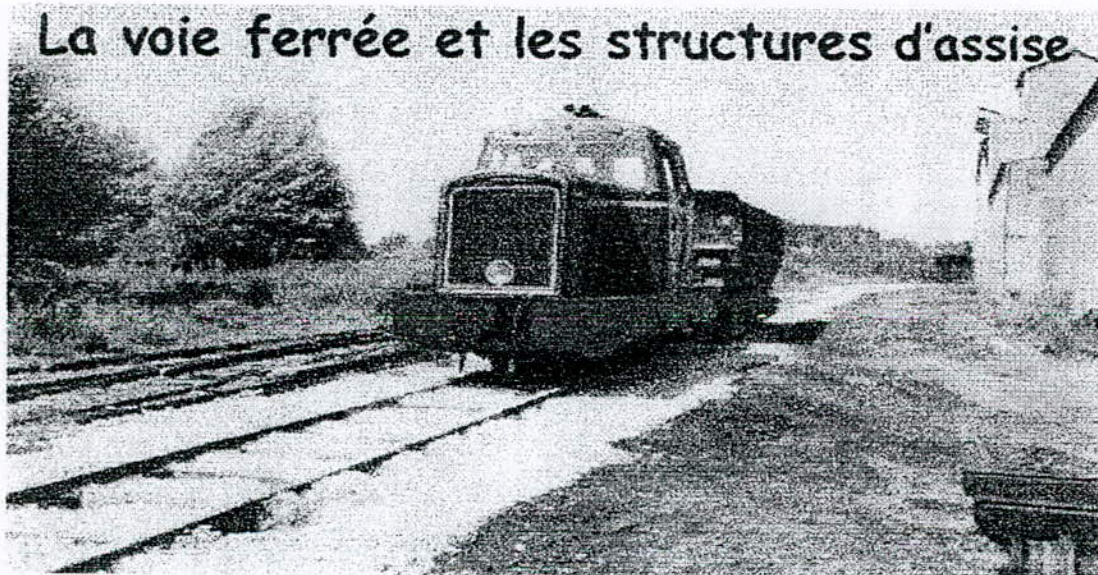
Ce mémoire se subdivise en deux grandes parties, à savoir :

- ❖ une partie théorique où est rappelé le rôle du ballast dans la constitution de la voie ferrée, ses qualités physico-mécaniques, géologiques et géotechniques, ainsi que ses faiblesses (détérioration par différents facteurs externes) ;
- ❖ la seconde partie est consacrée à l'étude de deux carrières (Kéddara et Ahmer El-Ain). Cette étude a porté sur la description du contexte géologique de ces carrières et techniques de leur exploitation, ainsi que les analyses géologiques et géotechniques des roches extraites.

Enfin, sont données des orientations géologiques concernant certains types de roches se trouvant en Algérie, et qui permettent d'améliorer la qualité du ballast utilisé par les chemins de fer algériens.

Chapitre I:

La voie ferrée et les structures d'assise



I-1- APERÇU GENERAL SUR LA VOIE FERREE

I-1-1- Définition de la voie ferrée

La voie est constituée par un assemblage d'éléments de compositions, d'élasticités et d'amortissements variables qui transmettent à la plate-forme, elle-même déformable, la charge dynamique des roues.

La voie classique comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses reposant sur une épaisseur variable de ballast, en principe isolé de la plate-forme par une sous couche.

I-1-2- Efforts supportés par la voie

Il existe entre la voie et les véhicules des interactions dynamiques très étroites puisque les véhicules exercent sur la voie des efforts dans trois directions : longitudinale, verticale et transversale, et que les imperfections de celle-ci réagissent sur la stabilité des véhicules.

Les efforts longitudinaux, dûs essentiellement aux accélérations et freinages, sont peu importants et ne posent d'éventuels problèmes que sur certains ouvrages d'art.

La résistance de la voie aux efforts verticaux restent généralement dans le domaine élastique d'une part et d'autre part, la plate-forme est suffisamment résistante pour s'opposer aux efforts dynamiques les plus élevés qui lui sont imposés.

Par contre, la résistance opposée par la voie aux efforts latéraux sort rapidement du domaine élastique ; la voie conserve des déplacements résiduels importants dès que les efforts dépassent une limite relativement élevée.

Les deux extrémités de la chaîne de transmission des efforts :

- le contact rail-roue
- le contact ballast-plate forme

sont encore insuffisamment connus.

La masse par essieu, la charge totale annuelle et la vitesse constituent les paramètres fondamentaux dans l'étude des efforts et de la fatigue supportée par la voie.

L'expérience montre que la charge joue un rôle fondamental dans le contact rail-roue et que de graves problèmes de tenue de rails en voie se posent sur les réseaux admettant de très lourdes charges, alors qu'au contraire les faibles charges sont peu agressives.

I-2- LES COUCHES D'ASSISES

Les couches d'assises contribuent à assurer par leurs natures et leurs épaisseurs, au bon comportement de la voie ferrée des points de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage.

Elles comprennent :

- ⊆ la couche du ballast
- ⊆ la sous-couche :
 - la couche de sous-ballast;
 - la couche de fondation;
 - la couche anticontaminante.
- ⊆ La plate-forme.

L'épaisseur de la couche d'assise dépend :

- ❖ des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel ...) ;
- ❖ des caractéristiques globales de la plate-forme, qui dépendent à leur tour non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site ;
- ❖ des conditions climatiques du site ;
- ❖ du trafic (tonnage, charge, vitesse) ;
- ❖ de l'armement (profil des rails, nature d'espacement des traverses...).

L'épaisseur de la couche du ballast doit être prise en compte lorsqu'on dimensionne la sous-couche.

I-2-1- La couche de ballast

La couche de ballast est un élément constitutif de la voie ferrée très important, car elle :

- ❖ assure, en raison de sa granulométrie particulière, le drainage et l'évacuation rapide des eaux zénithales;
- ❖ constitue un amortisseur très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments de ballast.);
- ❖ permet, au moyen de bourrage-dressage mécanisé, la rectification très rapide du nivellement et du tracé.

La couche supérieure dite de bourrage, dont le principal rôle est de permettre de bien caler les traverses, doit être de matériaux anguleux ; il suffit qu'elle ait 0,15 m à 0,20 m d'épaisseur au-

dessous de la face intérieure des traverses. Les cailloux ronds, difficiles à bourrer, doivent être éliminés.

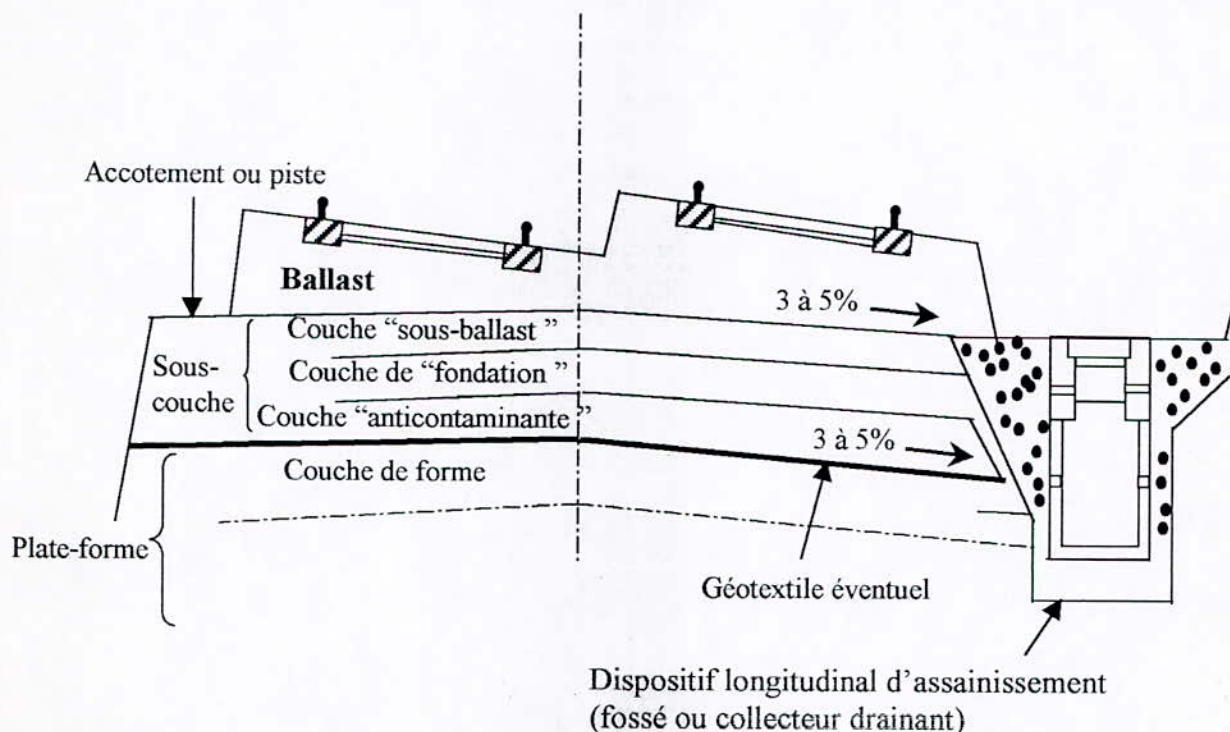


Fig.01 : Profil en travers schématique des couches d'assise mises en œuvre sur ligne nouvelle dans le cas d'une plate-forme argileuse (la sous-couche se présente alors sous forme d'une multicouche)

I-2-2- La sous-couche

Mono ou multicouche, elle est composée de matériaux grenus (sable ou graves) bien gradués, et qui comporte parfois des tapis de natures diverses : feuilles étanches plastiques (géomembranes) ou feuilles en feutre synthétique anticontaminant (géotextile).

Les rôles de la sous-couche sont multiples :

- ❖ Protection de la partie supérieure de la plate-forme contre l'érosion, qui résulte d'une part, du poinçonnement opéré par les éléments de ballast, et d'autre part, de l'action des eaux zénithales;

- ❖ Protection des plates-formes contre les effets du gel;
- ❖ Meilleure répartition des charges transmises, qui permet d'obtenir au niveau de la partie supérieure de la plate-forme des sollicitations de valeurs admissibles, conformément à l'indice de portance du sol.

La sous-couche comprend :

a) Une couche « sous-ballast »

En grave propre bien gradué de diamètre de 0 à 31,5mm comportant au moins 30% de concassé. Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plate-formes rocheuses où elle sert de couche d'égalisation et contribue à réduire la raideur de l'assise.

b) Une couche de « fondation »

En grave propre bien gradué, cette couche permet la circulation des engins de chantiers (la couche « sous ballast » étant mise en œuvre en fin de chantier, lorsque les travaux de terrassement proprement dits sont tous achevés). La couche de fondation n'est pas nécessaire sur les bons sols.

c) Une couche « anticontaminante »

Elle est formée de sable propre, et complétée par une feuille de feutre synthétique (géotextile). Cependant, de telles structures ne se rencontrent qu'exceptionnellement sur les lignes anciennes. Le plus souvent il n'existe entre la couche de ballast et la plate-forme, qu'une « couche intermédiaire » qui s'est formée à la longue sous forme d'un mélange plus ou moins pollué, constitué de matériaux divers : ballast, grave, sable, scorie, sol, etc.

I-2-3- La plate-forme

Sa partie supérieure est compactée en couche de forme, qui est également pentée transversalement.

Dans le cas d'un remblai, la couche de forme est constituée de même matériau ou d'un matériau de qualité meilleure que le corps de remblai ; elle s'en distingue cependant par un taux de compactage plus élevé.

Dans le cas d'un déblai, la couche de forme est obtenue en général par compactage. Cependant, on peut prévoir ici encore, un apport de sol de meilleure qualité.

Dans les deux cas, on peut également traiter la couche de forme aux liants.

I-3- ROLE DES STRUCTURES D'ASSISE

- ❖ elles repartissent sur la plate-forme les charges concentrées qu'elles reçoivent des traverses;
- ❖ elles amortissent une part des vibrations en provenance du contact rail-roue;
- ❖ elles contribuent aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie;
- ❖ elles permettent pour une large part d'assurer par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

I-4- DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'ASSISE SELON LES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES DE LA PLATE-FORME

I-4-1- Classes de qualité des sols

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres ci-après :

- 1) La nature géotechnique du sol, à savoir essentiellement :
 - ❖ la granularité est, s'il y a lieu, le pourcentage de contenu organique, dans le cas des sols meubles;
 - ❖ la dureté et l'altérabilité, dans le cas des sols rocheux.
- 2) Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales. En ce qui concerne l'influence sur la portance des sols, ces conditions sont réputées bonnes si :
 - ❖ la couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle;
 - ❖ la plate-forme n'est pas le siège de percolations naturelles nocives.

On distingue alors selon les paramètres ci-avant, les quatre classes de qualité de sols (notées QS_i) suivantes :

QS_0 : sols «impropres » à la réalisation correcte des couches d'assise sus-jacentes, ces sols doivent être substitués ou traités aux liants;

QS_1 : sols «mauvais »;

QS_2 : sols «moyens »;

QS_3 : «bons » sols.

I-4-2- Capacité des structures d'assise à la portance**(Tableau: 01)**

Classification des sols (identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0-1 Sols meubles organiques. 0-2 Sols fins (comportant plus de 15% de fines ⁽¹⁾), foisonnés, humides et donc non compactables (lorsque l'amélioration par traitement aux liants n'est pas possible pour des raisons techniques ou économiques). 0-3 Sols thixotropes ⁽²⁾ (quick-clay par exemple). 0-4 Matériaux solubles (par exemple : sol contenant du sel gemme ou du gypse). 0-5 Matériaux polluants (déchets industriels polluants, par exemple). 0-6 Sols mixtes «minéraux- organiques» ⁽²⁾ .	QS_0
1-1 Sols comportant plus de 40% de fines ⁽¹⁾ (sauf sols 0-2). 1-2 Roches évolutives (par exemple : craie de friabilité forte, marnes et schistes altérés).	QS_1
1-3 Sols comportant de 15 à 40% de fines ⁽¹⁾ (sauf sols 0-2). 1-4 Roches très évolutives (par exemple : craie de friabilité faible, schistes non altérés). 1-5 Roches tendres (par exemple si Deval sec < 6 et Los Angeles > 33).	$QS_1^{(3)}$
2-1 Sols comportant de 5 à 15% de fines ⁽¹⁾ . 2-2 Sables comportant moins de 5% de fines mais uniformes. 2-3 Roches moyennement dures (par exemple $6 \leq \text{Deval sec} < 9$ et $30 < \text{Los Angeles} \leq 33$).	$QS_2^{(4)}$
3-1 Sols comportant moins de 5% de fines ⁽¹⁾ . 3-2 Roches dures (par exemple si Deval sec ≥ 9 et Los Angeles ≤ 33)	QS_3

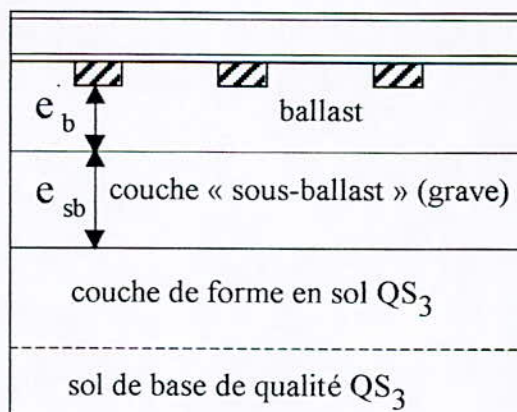
- (1) Les analyses granulométriques permettant d'évaluer ces pourcentages sont effectuées sur les passants à 60 mm. Les pourcentages indiqués ici sont des ordres de grandeur (les règles en usage diffèrent quelque peu suivant les administrations) ; ils peuvent être majorés d'une quantité pouvant atteindre 5 % sous réserve que les analyses portent sur un nombre d'échantillons suffisamment représentatif.
- (2) Certaines administrations placent ces sols dans certains cas en classe de qualité QS_1 .
- (3) Ces sols peuvent être de qualité QS_2 si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.
- (4) Ces sols peuvent être de qualité QS_3 si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.

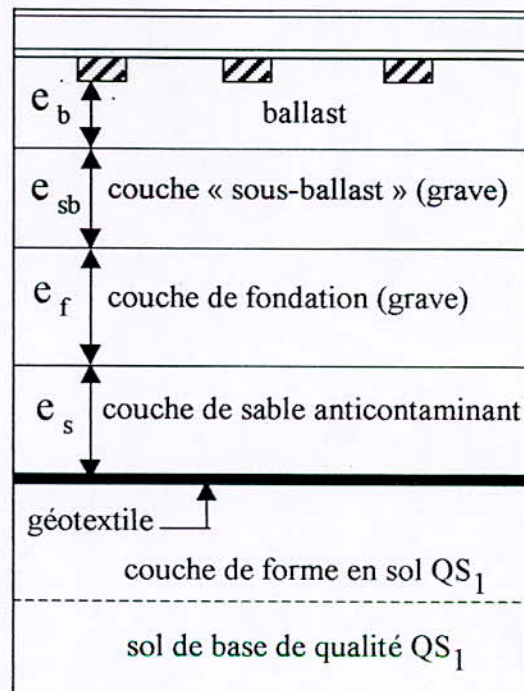
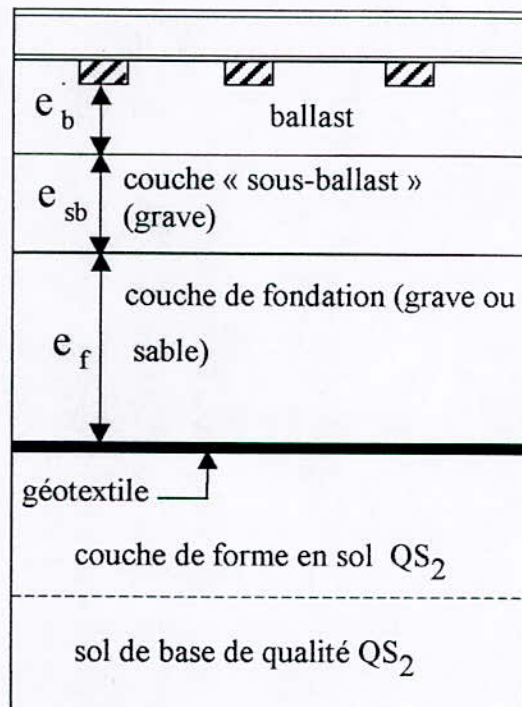
Remarque: On désigne par "fine" les éléments de dimension inférieure à 60 micros.

I-4-3 Les types des structures d'assise

a) Les structures classiques

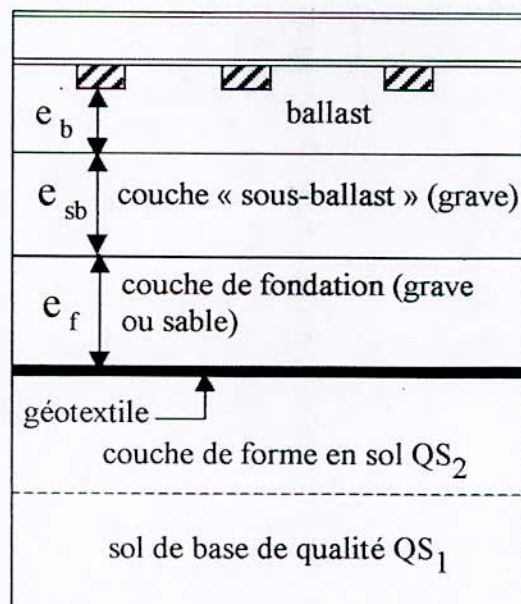
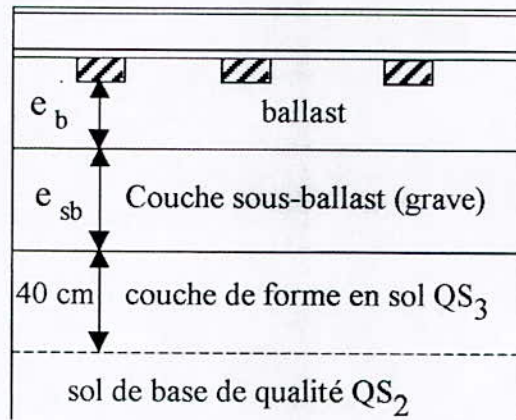
Dans ce cas, la couche de forme est de même nature que celle du sol de base.

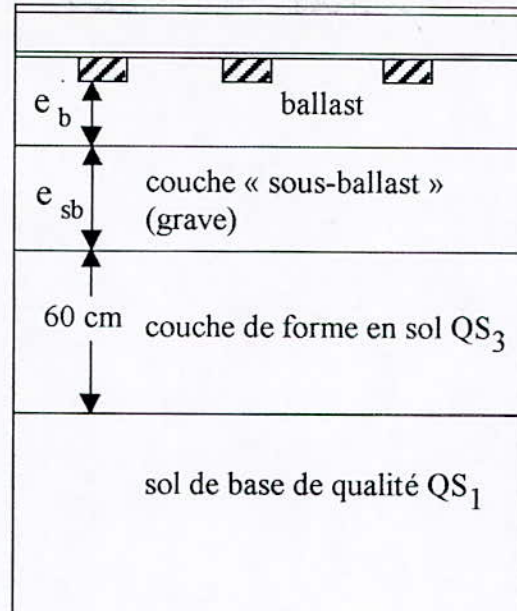




b) les structures comportant une couche de forme dite « rapportée »

La couche de forme est une couche de qualité meilleure que celle du sol de base, et elle est traitée aux liants hydrauliques.





c) Les structures comportant une géomembrane

Ce type de structure est à proscrire lorsque la plate-forme comporte une nappe ou des circulations d'eau sous-jacentes, cas fréquent dans les déblais. Ce type de structure n'est pas utilisé aussi dans les infrastructures nouvelles.

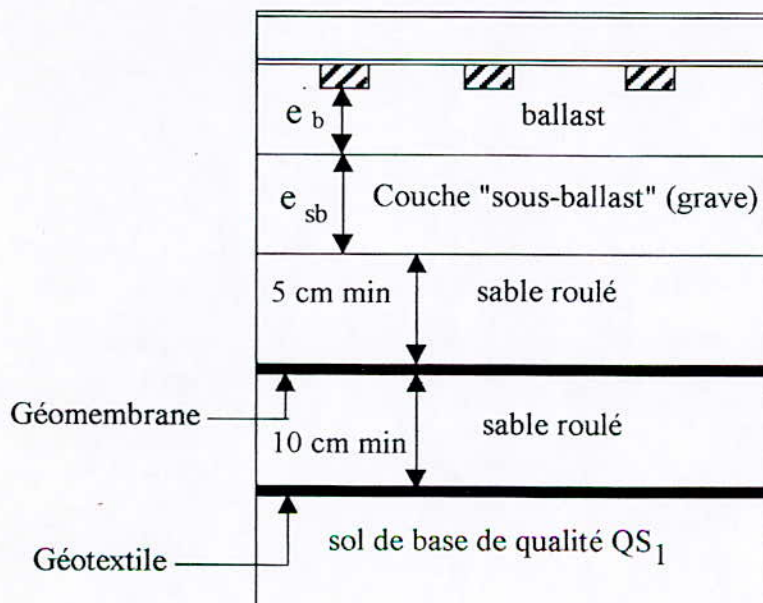


Tableau 02 : Epaisseurs des couches (en cm) en fonction des types de lignes classées par l'UIC

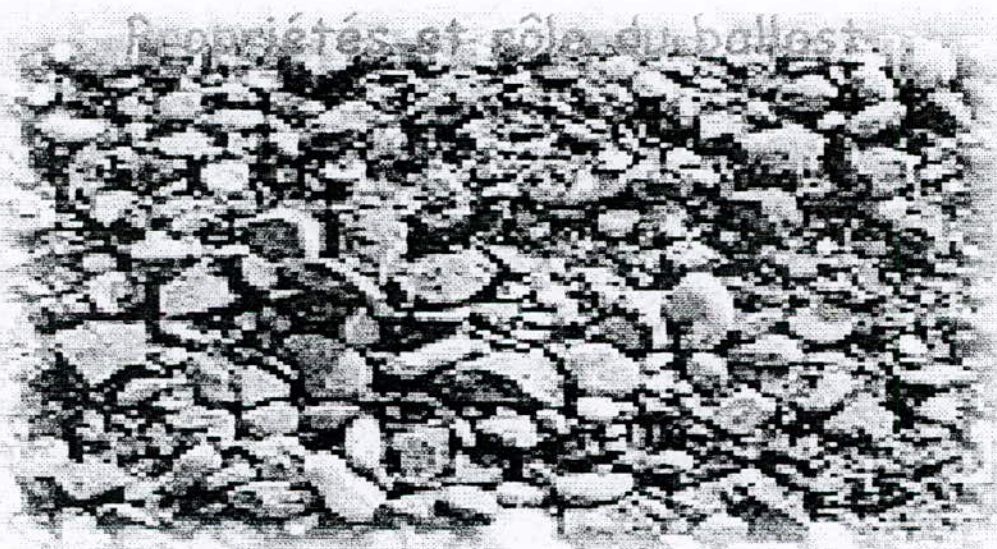
Types de lignes* Couches concernées	Lignes à vitesse de 200 Km/h	1-2-3		4-5-6 7 av		7sv 8-9	
		béton	bois	béton	bois	béton	bois
Traverses							
Ballast $e_b =$	30 (exception 25)	20	25	15	20	10	15
Sous-ballast $e_{sb} =$	20	20		20		15	
Fondation $e_f =$	20	20		15		15	
Sable anticontaminant $e_f =$	15	15		15		15	

Remarque

Dans les cas d'opérations localisées sur lignes existantes et lorsque les possibilités d'excavation sont limitées pour diverses raisons (stabilité de la fondation de la voie contiguë notamment), on peut supprimer la couche de fondation prévue sur sol de base QS₁ ou QS₂, mais il faut dans ce cas augmenter l'épaisseur de la « couche sous-ballast » d'au moins 5 cm.

* Les lignes sont classées en groupe UIC 1 à 9 selon un ordre de trafic décroissant

Chapitre II:



II-1- NATURE ET ORIGINE DU BALLAST

Le ballast est une masse élastique, creuse et compacte, bloquant les traverses, dont le nivellement peut être réalisé au millimètre en emboîtant entre eux des grands cailloux de 2,5 à 5 cm de taille. Ces granulats de ballast proviennent du concassage de roches extraites des carrières de pierres dures (granite, micro-granite, diorite, micro-diorite, rhyolite, porphyre, quartzite, ophite, grès, gneiss, calcaire, etc....) .

Les mêmes carrières élaborent également un granulat de 10 à 25 mm de diamètre, qui est employé pour la correction manuelle du nivellement des voies.

II-2- PROPRIETES DU BALLAST

L'utilisation du ballast en voie ferrée est importante en raison de ses caractéristiques, à savoir:

LA DURETE :

Elle doit lui permettre de résister aux efforts reçus, ainsi qu'à l'usure par abrasion du fait de vibrations engendrées dans la masse, par les charges roulantes.

L'ELASTICITE :

Cette élasticité, qui permet d'amortir la transmission des charges reçues et d'atténuer l'amplitude des efforts dynamiques, est à rechercher pour l'ensemble des éléments de ballast assemblés entre eux.

LA DENSITE ELEVEE :

Un ballast lourd leste mieux la voie et résiste mieux aux différents efforts auxquels il est soumis.

L'ANGULARITE ET LA RUGOSITE :

Les éléments de ballast doivent pouvoir s'assembler entre eux de façon à former un tout compact, il est donc utile que les arêtes soient assez vives et les surfaces assez rugueuses pour permettre la cohésion de la masse. De plus, le contact ballast-traverses doit pouvoir assurer une immobilisation des arêtes vives des éléments de ballast dans la masse des traverses (bois, rugosité ou alvéoles du béton) .

LA PERMEABILITE :

Elle sera pour l'ensemble du ballast, d'autant plus grande lorsque les vides existants entre les éléments assureront mieux l'écoulement de l'eau. C'est donc un problème lié à la granulométrie du ballast ainsi qu'à sa dureté, car l'abrasion produit

des poussières qui comblent progressivement les vides et freinent l'écoulement de l'eau.

LA NON-GELIVILITE :

Chaque élément devra être imperméable, ce qui le protégera contre les effets du gel.

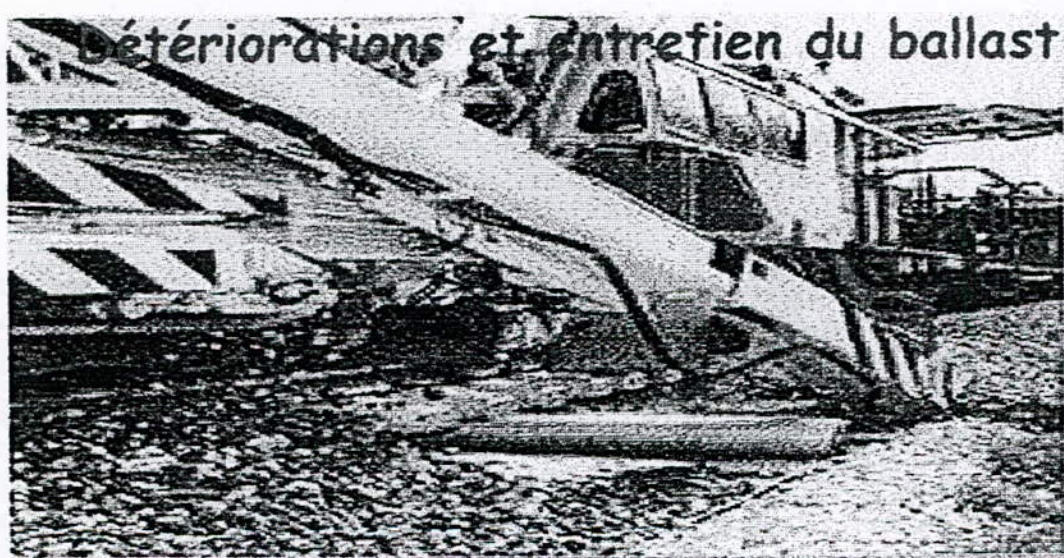
II-3- LE ROLE DU BALLAST

Le ballast permet :

- ❖ d'assurer en raison de sa granulométrie particulière, le drainage et l'évacuation rapide des eaux zénithales;
- ❖ de jouer le rôle de transition en assurant la transmission et la répartition sur la plate-forme des efforts exercés par les roues sur le rail;
- ❖ d'assurer l'ancrage des traverses dans le sens longitudinal et transversal et empêche les mouvements latéraux;
- ❖ de contribuer à la capacité d'amortissement de la voie grâce à ses propriétés rhéologiques. Ce rôle amortisseur du ballast résulte de la dissipation d'énergie par frottement de ses grains entre eux ;
- ❖ de permettre au moyen du bourrage-dressage mécanisé la rectification rapide des nivellements et du tracé de la voie.

En résumé, on peut dire que le ballast stabilise les lignes de chemins de fer en donnant une assise solide aux traverses et aux rails. Grâce à leurs arêtes vives, les cailloux s'enchevêtrent parfaitement ; mais au cours des ans, ces arêtes s'émoussent. C'est pourquoi par sécurité, le ballast est changé après 20 ans au plus sur les voies ferrées européennes.

Chapitre III:



III-1- INTRODUCTION

Les expériences et les observations montrent que le ballast ne se détériore pas d'une manière sensible sous les effets d'un seul processus, d'une cause unique, même si parfois elle est prépondérante. Généralement, c'est une combinaison de plusieurs facteurs ayant pour origine :

- ❖ l'usure mécanique;
- ❖ la pollution;
- ❖ l'altération physico-chimique;

qui provoquent la détérioration du ballast.

III-2- DETERIORATION DU BALLAST PAR USURES MECANIKES

Le ballast subit des détériorations sous l'action des contraintes auxquelles il est soumis.

III-2-1-Usures dues aux véhicules et à la voie:

Ces détériorations sont dues principalement à :

- a) L'apparition des défauts en provenance des :
 - ❖ Véhicules eux mêmes :
 - Effets de balourds
 - Défauts géométriques des organes de roulement
 - ❖ Voies :
 - Variation linéique de la rigidité verticale
 - Défauts géométriques du nivellement
- b) L'introduction de matériel de mise en œuvre et d'entretien inadapté
- c) L'augmentation du trafic et des vitesses

III-2-2- Usures dues aux techniques d'entretien

L'introduction de bourreuses lourdes conçues pour un concassé de roches très résistant (DRG > 16) provoque l'effritement du ballast de qualité moyenne à médiocre généralement utilisé sur nos voies.

Cet effritement des granulats peut être également provoqué lors du bourrage manuel ; le ballast étant introduit sous la traverse à l'aide d'une batte, au refus.

III-2-3- Usures dues aux défauts de nivellement et de bourrage

- ❖ Les défauts de nivellement dans le profil de la voie;

- ❖ L'apparition non uniforme de points durs le long du tracé (trop bourrés, rigides...) et de points faibles (zone insuffisamment bourrée, d'altération...) conduisent à un pillonnage du ballast par les traverses à chaque passage de trains, provoquant une désagrégation du matériau et un poinçonnement de la plate-forme.

En effet, les défauts de nivellement et de bourrage exercent une action nocive sur les bogies de chaque véhicule, qui réagissent sur le matériel de voie (rails, traverses, attaches) en provoquant ainsi un comportement non uniforme de l'ensemble, et qui se met à osciller anormalement (phénomène de danse) transmettant des chocs intenses au ballast.

III-2-4- Usures dues aux modifications des conditions d'exploitation

La mise en circulation :

- ❖ de matériel lourd, amène l'apparition de sollicitations mécaniques plus élevées d'où des risques d'écrasement du ballast. Ceci est d'autant plus élevé que le dimensionnement initial n'a pas pris en compte cette évolution du trafic.
- ❖ de trains plus rapides induit une augmentation de l'accélération du ballast ; il peut en résulter ainsi une attrition plus importante de ce dernier. Cependant, le coefficient de réaction globale de la voie augmente avec la vitesse puisque les durées d'application des charges diminuent, d'où un meilleur comportement mécanique de la voie. Malheureusement, l'existence de défauts au niveau de la voie et des véhicules provoque une très forte augmentation des sollicitations anormales d'où une désagrégation accélérée du ballast.

III-2-5- Usures dues aux défauts du matériel de la voie

Les défauts des matériels de la voie provoquent l'augmentation des chocs et des vibrations transmises au ballast. Si l'on sort du domaine élastique, la détérioration de l'ensemble ballast-plate-forme est rapide.

III-2-6- Usure due au droit des joints

Au niveau des joints, le ballast est très sollicité mécaniquement. Le boudin, en sautant d'un rail à l'autre, donne des coups à ce dernier, d'où une application brutale de la traverse sur son moule. Dans ce cas, le ballast prend une couleur particulière (claire) et les grains s'arrondissent.

De plus, les mouvements de pompage de la traverse provoquent, par aspiration, des remontées d'eau et de fines de la plate-forme. La pollution se poursuivant, les traverses finissent par reposer sur une assise rigide formée d'argile et de ballast.

Le phénomène évolue selon le même principe de part et d'autre du joint et condamne à terme la voie sur de longues distances.

III-2-7- Usures dues aux produits transportés ou déversés sur la voie

Des produits abrasifs, tel que le sable quartzeux, transportés ou utilisés par les machines pour éviter le patinage, peuvent par friction, accélérer la désagrégation du ballast.

III-2-8- Usures dues à la structure de la plate-forme

Le ballast, en contact d'une plate-forme rocheuse et dure, s'écrase et se transforme en poudre (effet d'enclume).

III-3- DETERIORATION DES CARACTERISTIQUES DU BALLAST PAR POLLUTION

La pollution a pour effet de rigidifier la couche de ballast, de diminuer sa perméabilité et de l'empêcher donc de jouer les rôles qui lui sont assignés.

Les causes de pollution du ballast sont multiples, et on y distingue principalement les pollutions par :

- les fines;
- le sable;
- les produits transportés;
- la végétation;
- les zones industrielles.

III-3-1- Pollution par les fines

Ce type de pollution est très répandu sur notre réseau, et a des origines diverses

a) Pollution par les fines produites par l'altération du ballast

Le ballast, sous l'action de différentes sollicitations, s'altère en produisant des fines qui colmatent et polluent ses éléments.

Ce phénomène est très prononcé pour les calcaires tendres et les roches altérables.

b) Pollution par les fines véhiculées par l'eau

L'absence, le mauvais fonctionnement ou le sous dimensionnement du réseau de drainage provoquent l'inondation de la voie, et la stagnation des eaux induisent des dépôts ou des remontées de fines dans la couche de ballast.

c) Pollution par les fines de plate-forme

Une plate-forme argileuse finit presque toujours, si le dimensionnement des couches d'assise n'a pas été sérieusement pensé, par contaminer la couche de ballast.

III-3-2- Pollution par le sable dans les zones côtières et désertiques

Sous l'effet des vibrations engendrées par la circulation des véhicules, on observe un déplacement du ballast de bas en haut provoqué par l'infiltration de sable dans la plate-forme. Le ballast s'éparpille à la surface du sable, quitte la voie et se retrouve parfois à quelques mètres plus loin.

L'entretien de la voie par bourrage devient alors impossible, et la voie perd ainsi de son élasticité en devenant rigide. Si l'influence de cette rigidité est favorable à la plate-forme dans des voies à faible exploitation, elle risque d'être source de déstabilisation de la voie si :

- ❖ le trafic est intense ;
- ❖ la vitesse est élevée ;
- ❖ la voie est posée en LRS* ;
- ❖ la charge par essieu est considérable.

Donc en aucun cas, le dépôt de sable sur la voie ne peut lui être bénéfique.

Du fait de sa consistance et sous l'action du vent et du déplacement des dunes, le sable s'introduit facilement dans les cavités du lit de ballast en donnant deux situations particulières :

a) Remplissage partiel du lit de ballast par le sable

Dans le cadre de l'étude Hassi Messaod-Ouargla, des essais relatifs à ce thème ont été effectués. On a remarqué dans ce cas qu'une chute du module du ballast (de la portance de la couche de ballast) due au fait aux zones de contact des grains de ballast, le sable intervient comme un moyen de glissement aussi longtemps que dans le lit de ballast restent des cavités à remplir. Ceci se traduit par un tassement important et par l'apparition de points faibles nocifs à la longévité du ballast et du matériel.

* LRS : Long Rails Soudés

Le ballast dans ce cas précis, et en l'absence d'humidité, risque d'être chassé par le sable sous l'effet des vibrations. C'est le cas du PK 303-307 au nord de Méchéria où après 4 ans, les vibrations ont complètement chassé le ballast.

b) Lit de ballast complètement remblayé par le sable

Pour le cas d'un lit de ballast complètement remblayé par le sable, il a été constaté dans le cadre de l'étude citée plus haut, ce qui suit:

- ⊆ un accroissement rapide du module du lit de ballast (la portance);
- ⊆ à des charges par essieu élevées, le lit de ballast possède une rigidité supérieure à celle montrée à des charges inférieures;
- ⊆ au cours de l'enlèvement du matériau à la fin de l'essai, l'imbrication des pierres de ballast était extraordinairement forte, et il n'a pu être constaté aucune cassure, ni même de traces d'abrasion.

Remarque

Il s'ensuit que pour une superstructure nouvellement mise en place, il faut s'efforcer à obtenir une rapide stabilisation pour éviter des fluctuations dans la rigidité du lit de ballast et l'utilisation d'un stabilisateur de voie est recommandée.

III-3-3- Pollution par les produits transportés

Les wagons spécialisés dans le transport des produits en vrac ne sont pas toujours étanches, beaucoup de matières s'échappent et polluent le ballast, entre autres on peut citer le phosphate, le sable quartzeux, le blé, les stériles et les produits chimiques.

a) Pollution par le phosphate

Ce type de pollution cause de grands dommages à la voie en diminuant la perméabilité de la couche de ballast.

b) Pollution par le sable quartzeux

Nous avons déjà noté le rôle abrasif du sable quartzeux..

c) Pollution par les huiles et les produits chimiques

Les huiles et le gas-oil déversés par les locomotives dans les zones de dépôts **essentiellement**, **accélèrent** l'altération et lubrifient les grains de ballast, en provoquant aussi des tassements.

Les produits chimiques tel que le soufre, peuvent en présence d'eau attaquer le ballast calcaire.

III-3-4- Pollution par la végétation

Cette pollution provoque la diminution de la perméabilité et l'absence de désherbage risque de réduire le lit de ballast.

III-3-5- Pollution due aux zones industrielles

Les poussières rejetées dans l'atmosphère par les grandes usines sidérurgiques, cimenteries, carrières, etc... se déposent sur le ballast et finissent par le colmater.

De plus ces poussières renferment des résidus chimiques qui peuvent se révéler très agressifs pour le ballast.

III-4- DETERIORATION DES CARACTERISTIQUES DU BALLAST PAR ALTERATION

Le ballast, sous les actions conjuguées de l'eau, du climat et d'agents chimiques qui le polluent, subit une altération physico-chimique.

Les effets de cette altération se traduisent par une évolution de la granulométrie (apparition de fines) et une baisse des caractéristiques mécaniques.

L'eau agit sur le ballast et la plate-forme de la voie par différentes manières en provoquant :

- ❖ la diminution de la portance ;
- ❖ la réduction de l'élasticité du ballast ;
- ❖ la pollution par des fines et des agents agressifs ;
- ❖ l'altération par hydratation et dissolution.

a) diminution de la portance dans les sols saturés accidentellement :

Dans les cas d'inondations de la plate-forme, l'apparition des pressions interstitielles, et l'imbibition des matériaux sensibles à l'eau (plastiques) provoquent :

- ❖ une diminution de la portance de voie ;
- ❖ un poinçonnement de la plate-forme par le ballast ;
- ❖ une remontée des fines ;
- ❖ un lessivage du toit des sous-couches (sous-ballast) insuffisamment compactées.

Remarque : Les fluctuations de la nappe peuvent provoquer des tassements de la voie

b) réduction de l'élasticité du ballast :

L'imbibition des fines et des granulats du ballast lubrifie le matériau, le frottement grain à grain diminue, et ceci provoque des tassements sous charge (par réarrangement du squelette). Ainsi, le rôle d'amortisseur du ballast se trouve réduit du fait de la diminution de son élasticité.

c) pollution par des fines et des agents agressifs :

L'eau peut avoir en dissolution ou véhiculer :

➤ **Des fines (sable, argile) :**

Le dépôt des fines remplit les vides en engendrant une forte diminution de la perméabilité globale. S'il n'y a pas d'intervention humaine, le phénomène va en s'aggravant jusqu'à la rigidification complète du lit de ballast.

➤ **Des agents agressifs pour le ballast (gaz carbonique, acide sulfurique) :**

En présence de gaz carbonique ou d'acide sulfurique, il y a dissolution du ballast calcaire par transformation du carbonate de calcium (CaCO_3) insoluble respectivement en Bicarbonate de calcium $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ et en Gypse $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ soluble.

Les effets de ces phénomènes sont d'autant plus importants que la roche à ballast soit poreuse, perméable et que les stagnations d'eau sont plus prolongées.

d) Altération par hydratation :

L'altération par hydratation, ainsi que l'effet des argiles riches en montmorillonites sur l'accélération de la décomposition d'une roche, sont bien connus. Il est par conséquent indispensable de dimensionner convenablement les ouvrages de drainage et d'assainissement de la plate-forme.

III-5- ENTRETIEN DU BALLAST

La bonne qualité et la tenue de la stabilité de la voie dépendent en grande partie de l'état du ballast. Au cours du temps, le ballast se désagrège sous l'effet des sollicitations des convois ferroviaires et se colmate à cause des dépôts de poussière et des déchets tombant sur la voie d'une part, et de la remontée de la boue vers le ballast d'autre part.

Il est indispensable dans ce cas, d'éliminer ces déchets, cette poussière et cette boue afin d'aérer le ballast et lui redonner sa perméabilité et ses qualités premières. Cette opération est appelée désagrégation-criblage.

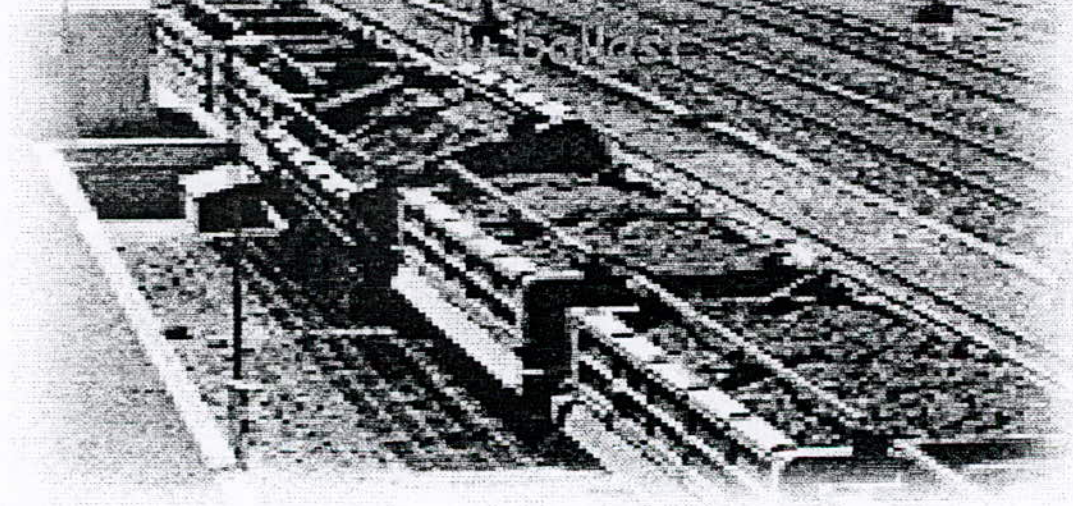
A l'origine, cette opération était manuelle et avait un rendement très faible. Actuellement, la dégarnisseuse-cribleuse de ballast, permet d'effectuer cette opération à grand rendement, et consiste à :

- * dégarnir le ballast;
- * cribler le ballast;
- * remettre le ballast épuré en voie (parfois il faut ajouter du ballast neuf).

Les déchets sont soit évacués par des wagons, soit rejetés sur les côtés.

Chapitre IV:

Les caractéristiques physico-mécaniques
des ballasts



IV-1- LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

IV-1-1- Granulométrie

Les dimensions des éléments du ballast joue un rôle important dans la résistance de la voie aux mouvements transversaux et longitudinaux .

Les granulométries du ballast dans les différents réseaux ferroviaires sont : 25/40 mm, 25/50 mm et 25/55 mm , et celle utilisée actuellement en Algérie est de 25/50 mm mais cela n'empêche pas l'utilisation étendue du ballast 25/40 mm.

IV-1-2- Forme des granulats

La forme des éléments de ballast utilisé pour la voie ferrée doit être polyédrique et à arêtes vives.

Une couche de ballast comportant des granulats cuboïdes ou angulaires de dimensions mixtes, confère normalement à la voie une élasticité et une résistance très élevées.

Les granulats ne doivent donc être ni trop longs, ni trop plats.

Les éléments de ballast de forme polyédrique et à arêtes vives doivent être conformes en longueur et en épaisseur, aux prescriptions du tableau 03

Forme de granulats	Limite normale	Limite absolue	SNTF Projet Jijel
Aiguilles ($L > 92$ mm)	Jusqu'à 4% en poids	8%	
Plats ($E < 16$ mm)	Jusqu'à 7% en poids	10%	
Défectueux ($L + D > 4 E$)	Jusqu'à 10% en poids	15%	
Une face fracturée			> 98%
Deux faces fracturées			>95%

Tableau 03 : Dimensions des matériaux granulaires

L: désigne la plus grande dimension d'une pierre, c'est à dire l'écartement maximal des deux plans parallèles en serrant la pierre;

D: désigne le diamètre minimal de l'anneau à travers lequel elle peut passer;

E: désigne l'écartement minimal en serrant la pierre, on appellera "pierre défectueuse".

IV-1-3- Homogénéité des granulats

De part son influence négative sur le comportement mécanique du ballast, la proportion en poids des granulats friables ou altérés ne doit pas dépasser :

- * la limite normale de 3%;
- * la limite absolue de 6%.

IV-1-4- Propreté des granulats

Le ballast doit être exempt de gangue, poussière, sable, fines et débris.

Le pourcentage de matière polluante doit être maintenue, si nécessaire par lavage, inférieur ou égal à 1%.

IV-1-5- Conclusion

En résumé, ces spécifications relatives à la forme, la dimension et la granularité varient d'un pays à un autre, selon :

- * la qualité des roches disponibles;
- * le type de traverses utilisées;
- * la type de structure de la voie;
- * la méthode d'entretien de la voie;
- * la densité du trafic, etc.

IV-2- LES CARACTERISTIQUES MECANIKES

Le ballast est soumis à de multiples sollicitations, à savoir:

- * les traverses qui lui transmettent:
 - des charges concentrées verticales, transversales et longitudinales;
 - des vibrations qu'il doit diffuser jusqu'à la plate-forme.
- * Le climat et l'environnement agressent et détériorent ses caractéristiques mécaniques et physiques.

Pour ces raisons , les granulats de ballast doivent satisfaire à certaines conditions relatives à leurs résistances mécaniques (dureté).

Cette dureté doit être envisagée sous le double aspect de :

- * la résistance à l'attrition (usure par frottement réciproque des granulats);
- * la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats (fragilité).

Des essais dont le but est de mesurer in situ ou de reproduire ces phénomènes en laboratoire, ont été mis au point.

IV-2-1- Résistance à l'attrition

Les matériaux de la couche de ballast , sous l'effet des charges concentrées et les vibrations, subissent des déplacements relatifs provoquant une usure par frottement aux points de contact entre les granulats. Ce phénomène a été reproduit en laboratoire sous le nom d'essai « Deval ».

a/ Essai Deval

a1) Principe de l'essai

L'évolution des granulats provoque l'apparition des fines. Ainsi, l'essai consiste à mesurer le quantité d'éléments dont le diamètre est inférieur à 1,60 mm (tamis à maille carrée). Cet essai, effectué à sec ou en présence d'eau, est appelé respectivement Deval sec et Deval humide.

Ces éléments sont produits dans la machine Deval par les frottements réciproques et les chocs modérés des granulats d'une prise d'essai.

a2/ Les normes d'exécution de l'essai deval

Tableau 05 : Essai Deval (projet El Harrach-Thénia)

	Contrat SNTF/GEA
Granularité	25/55 mm
Echantillon	44 pierres 5000 ± 50 g
Charge de frottement	aucune
Nombre de rotation	10000 avec 2000 rotation/Heure
Maille de tamis	1,60 mm
Calcul du coefficient Deval	Deval=400/k K étant la perte spécifique due à l'usure à 1,60 mm pour 1000 g d'échantillon

Les normes d'essai Deval adoptées par l'Algérie (projet GEA, El-Harrach-Thénia) sont:

- Valeur normative du Deval : $D > 9$
- Deval évalué par rapport au passant : $< 1,60 \text{ mm}$

Remarque: l'eau étant le plus souvent présente dans le ballast et favorise fortement l'usure, ainsi c'est l'essai Deval (Micro-Deval) en présence d'eau qu'il faut surtout retenir.

b) Essai Micro-Deval en présence d'eau (MDE)

	France
Granularité	D=10/14 mm
Echantillon	500 g
Charge de frottement	5 kg de billes de d= 10mm en acier inox
Nombre de rotation	12000-6000 tours/heure
Maille de tamis	1.60 mm
Calcul du coefficient MDE	$100 * m/500$

Tableau 06 : Essai Micro-Deval en présence d'eau (d'après J.ALIAS)

m : Masse en gramme des éléments de dimension inférieure à 1,60 mm formés au cours de l'essai

Remarque

Il existe une bonne corrélation entre le Deval (D) et le Micro-Deval (MD), et on peut passer de l'un à l'autre à l'aide de la formule :

$$D = \frac{80}{MD}$$

IV-2-2- Résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats

Le ballast, sous l'effet des conditions qui lui sont transmises, évolue :

- * par frottement des granulats entre eux;
- * par chocs engendrés par les traverses.

Ces deux phénomènes ont été reproduits en laboratoire pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs (présence de boulets normalisés) et l'usure par frottement réciproque des granulats connue sous l'appellation d'essai Los Angeles.

a) Essai Los Angeles

a1/ Principe de l'essai

L'évolution du matériau sous les sollicitations pré-citées, et provoquant l'apparition des fines, sera définie par le coefficient de Los Angeles.

Ce coefficient est le rapport de la quantité de fines inférieures à 1,60 mm (maille carrée) produites dans la machine Los Angeles, et la masse de la prise d'essai.

	France
	5000 g
Masse échantillon	25/40 : 3000 g 40/50 : 2000 g
Charge de frottement	12 boulets
Masse de boulets	5280 g
Nombre de rotation	1000
Maille des tamis	1,6 mm
Granularité	25/50 mm

Tableau 07: Exemple d'essai Los Angeles pour du ballast utilisé en France (d'après J-ALIAS)

a2/Exploitation des résultats

Le coefficient Los Angeles est, par définition le rapport

$$LA = \frac{100 * m}{5000(\text{pesée})}$$

Où : m = masse des fines produites au cours de l'essai et dont le diamètre est inférieur à 1,60 mm (maille carrée)

Les normes adoptées par l'Algérie (projet GEA, El-Harrach-Thenia) sont les suivantes :

Los Angeles : LA < 34% et maille carrée : 1,60 mm

b) Essai de fragmentation dynamique

Cet essai obéit aux mêmes principes que l'essai Los Angeles, et une bonne corrélation existe entre ces deux essais. L'essai de résistance à la fragmentation dynamique est intéressant puisqu'il est rapide, peu onéreux et permet au cours de prospection, le contrôle de lots importants d'agrégats.

IV-2-3- Dureté relative globale

La valeur de la dureté relative (DR) est la plus faible des deux valeurs obtenues successivement à partir des couples de coefficients :

- Deval sec- Los Angeles
- Deval humide- Los Angeles

Dans le cas des graves, la valeur de la dureté relative est obtenue à partir du seul couple de coefficients : MDE-LA

MDE : Micro-Deval en présence d'Eau.

Le coefficient de « dureté relative globale DRG » est égale à la plus faible des deux valeurs (1) et (2) ci-après :

(1) $\overline{DR} - 0,5\sigma_{DR}$

(2) $DR_{\min} + 2$

$$DR \text{ (moyenne arithmétique des duretés relatives)} = \frac{\sum DR}{n}$$

$$\sigma_{DR} \text{ (écart type)} = \sqrt{\frac{\sum(DR_i - \overline{DR})^2}{(n-1)}}$$

où **n** : nombre d'échantillons soumis à l'essai

DR_{min} : la plus faible valeur des duretés relatives.

Remarque

La DRG est à calculer sur un minimum de 05 échantillons.

La dureté globale exigée pour le ballast varie selon la nature des traverses et la nature du trafic, comme l'indique le tableau 08:

	Traverses en bois			Traverses en béton de longueur ≥ 2,40 m			Traverses en béton de longueur < 2,40 m		
	Coefficient de la dureté globale			Coefficient de la dureté globale			Coefficient de la dureté globale		
	Souhaitable	Min	*	Souhaitable	Min	*	Souhaitable	Min	*
Groupe UIC 1 à 6									
V>200				20	17	16			
V<200	17	14	13,5	17	15	14	18	15	14
Groupe UIC 7 à 9		13,5	13		14	13		14	13
Projet Jijel								11,5	

Tableau 08 :La dureté globale en fonction de la nature des traverses et du trafic

IV-2-4- Essai à la compression

Sous l'effet des contraintes verticales qui lui sont transmises par les traverses, le ballast subit des compressions importantes qui peuvent provoquer une rupture progressive ou

brutale du matériau. L'essai à la compression est une méthode simple pour apprécier la résistance du matériau à ces sollicitations.

Il permet également d'apprécier tous les degrés d'altération d'une roche.

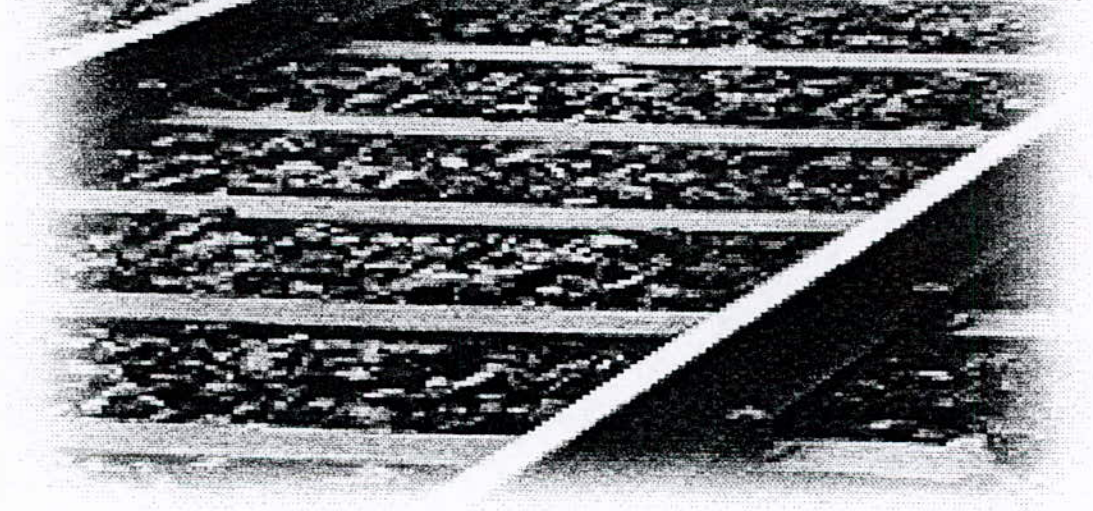
Compression Simple (R_c)

Valeurs admises

Pays	Valeurs R_c
Algérie	$R_c > 1400 \text{ Kg/Cm}^2$
Autriche	$R_c > 1500 \text{ Kg/Cm}^2$
U.S.A	$R_c > 1800 \text{ Kg/Cm}^2$

Chapitre V:

Les caractéristiques géologiques du ballast



V-1- LA PETROGRAPHIE

V-1-1- La composition minéralogique

La connaissance précise de la composition minéralogique nous aide dans le choix des roches à ballast. L'homogénéité de la composition minéralogique est un critère important quant aux caractéristiques mécaniques des roches. Dans ce qui suit, on citera quelques exemples pour comprendre l'importance de ce critère.

EXEMPLE N° 01 :

a) Analyse de l'andésite de Bled Meharia*

N° Echantillon	A	B	C	D	E
Quartz	25	50	17	05	10
Feldspaths	15	35	10	05	20
Micas	30	03	30	35	15
Chlorites	-	05	-	-	-
Calcites	-	-	-	05	-
Zéolites	25	-	40	50	50
Total en %	95	93	97	100	95

b) Interprétation des résultats

- * Il y a un pourcentage élevé en Zéolites, minéraux facilement décomposables;
- * Il y a des roches de composition hétérogène (Quartz de 05 à 50%), ce qui induit un comportement mécanique totalement différent.

* Résultats édités par le centre de recherche ferroviaire (CRF, 1990)

EXEMPLE N° 02 :**a) Analyse des Granodiorites de Béni-Amdouch***

N° Echantillon	A	B	C
Quartz	30	30	30
Feldspaths	20	10	18
Micas	35	30	33
Chlorites	05	15	05
Calcites	-	-	04
Zéolites	-	03	-
Montmorillonite	05	05	05
Kaolinite	-	03	02
Total en %	95	96	97

b) Interprétation des résultats

- * La composition relativement homogène et la texture grenue confèrent à la roche un bon comportement mécanique.
- * La présence des minéraux telle la montmorillonite (05%) est tolérable.

V-1-2- La texture

La texture est l'agencement des minéraux dans les roches ; elle est fonction de la composition minéralogique et du mode de gisement. La texture de la roche a une action sur le comportement mécanique de celle-ci.

a) Les roches magmatiques

Dans un granite, le refroidissement lent du magma permet aux minéraux, en cristallisant, d'atteindre leur équilibre thermodynamique. Cette situation se traduit par une imbrication des minéraux donnant à la roche un bon comportement mécanique.

* Résultats édités par le centre de recherche ferroviaire (CRF, 1990)

b) Les roches Sédimentaires

Pour les roches sédimentaires et en particulier les calcaires, la texture microcristalline (sparithique) confère à la roche un meilleur comportement mécanique. Cependant, l'homogénéité de la composition des roches sédimentaires joue un rôle beaucoup plus important que la texture.

V-1-3- L'altération

a) Définition

C'est le vieillissement naturel d'un matériau et son adaptation à de nouvelles conditions physico-chimiques différentes de celles qui régnaient lors de sa formation. Elle induit des modifications physiques, chimiques et minéralogiques dans les roches. L'altération dépend de plusieurs facteurs et conduit à des mécanismes très diversifiés .

b) Différentes types d'altération

b1) L'hydrolyse : fixation d'eau provoquant la destruction d'un corps et son remplacement par un autre.

Exemples : Feldspaths \longrightarrow Kaolinite (argile)
 Anhydrite (Ca SO_4) \longrightarrow gypse

b2) Altération météorique

A l'échelle du massif, elle se propage de haut en bas et concerne uniquement les parties superficielles, dites stériles.

b3) Altération profonde

Dite aussi transformation hydrothermale ; elle se propage de bas en haut et concerne le massif en entier. Les minéraux tels que: les argiles, les zéolites, les hydroxydes de fer, la pyrite, le charbon et les inclusions organiques peuvent, dans le cas où ils constitueraient un pourcentage important, avoir des effets néfastes sur les caractéristiques mécaniques des roches.

V-2- LA TECTONIQUE

La connaissance de la tectonique nous permettra, d'une part, de situer les roches par rapport aux contraintes de déformations et d'autre part, de retrouver les périodes d'accalmie ayant permis la formation de roches homogènes, massives et dures.

V-3- CONCLUSION

Les fronts de taille de la plupart des carrières en Algérie présentent une hétérogénéité due:

- ❖ à la stratigraphie : couches d'âges différents;
- ❖ à la composition : cas fréquent dans les massifs magmatiques par différenciation;
- ❖ à la structurale : contact anormal de roches de compositions et d'âges différents, par faille, plis, etc....
- ❖ aux interlits d'argiles et de marnes relatives au milieu de sédimentation;
- ❖ aux roches altérées.

Il est par conséquent difficile de fournir toujours un ballast homogène. Or, nous connaissons l'importance vitale de l'homogénéité des roches pour la production d'un ballast de qualité.

D'autre part, la demande sans cesse croissante en matériaux de qualité exige la sélection de toutes les roches susceptibles d'être utilisées comme ballast. Cela suppose la connaissance des phénomènes régissant la genèse, l'évolution et la distribution des roches.

Pour illustrer nos dires, nous proposons deux exemples.

V-3-1 Carrière à ballast hétérogène

Exemple Carrière Ahmer El-Ain (TIPAZA)

Le ballast produit est un mélange des deux roches : l'andésite et la rhyolite.

Les essais mécaniques réalisés au LCTP confirment nos observations.

Essais réalisés au LCTP

Roches	Deval sec	Los Angeles	Date
Andésite seule	15,4	19,5	Octobre 1989
Rhyolite seule	5,7	24,6	
Mélange	9,5		

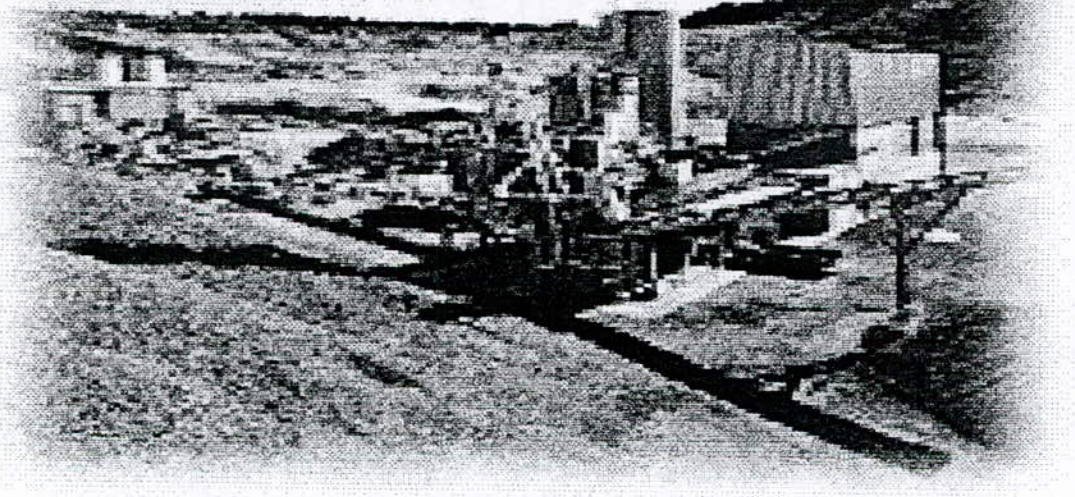
V-3-2- Carrière à ballast non propre

Exemple Carrière El-Ghédir (SKIKDA)

Les calcaires dolomitiques du Lias présentent des interlits d'argiles qui ne sont pas toujours éliminés, ce qui donne un ballast comportant un fort pourcentage de fines. Ces constatations justifient à notre avis, l'organisation de contrôles réguliers, inopinés, sous la direction d'un géologue.

Chapitre VI:

Exploitation de la carrière de Kéddara



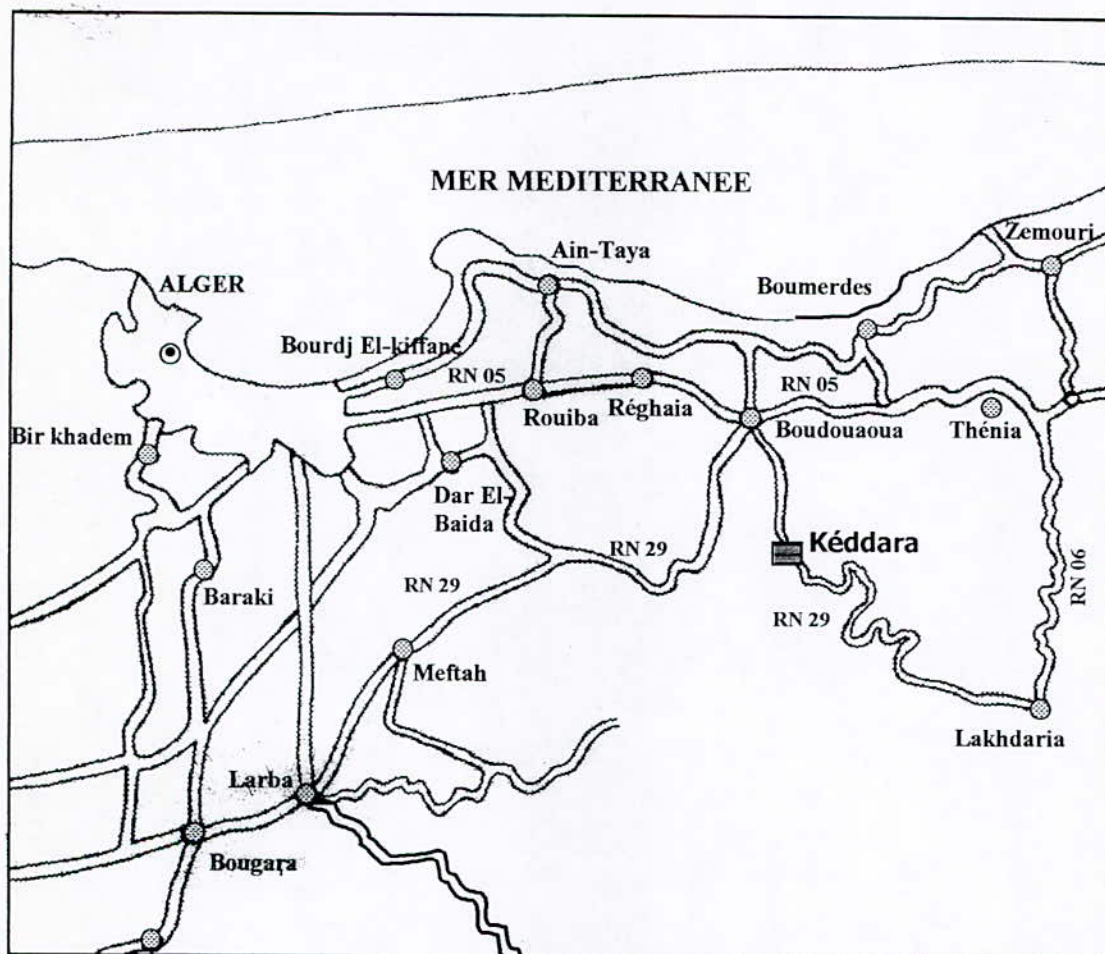


Figure 02 : Situation géographique de la carrière de Kéddara

VI-1- SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA CARRIERE

Le gisement de calcaire de Kéddara est situé à 45 km à l'Est d'Alger et à 1,2 Km à l'Ouest du village de Kéddara. Il est allongé Est-Ouest et limité :

- au Nord et à l'Est par des terrains privés à vocation agricole;
- à l'ouest par le barrage de Kéddara ;
- au sud par l'Oued Kéddara.

A environ un kilomètre de ce gisement, passe la route nationale N^o 29 menant de Boudouaou à Lakhdaria. Sa situation est définie plus exactement par les coordonnées Lambert au centre de gisement, qui sont X 568600 et Y 369000 (figure 02).

VI-2- LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES

VI-2-1- Généralités

Les roches sédimentaires de la région Est-Algéroise affleurent sur une grande surface, offrant un très fort potentiel en agrégats.

L'étude physico-mécanique à la suite de différents essais effectués sur les échantillons représentatifs a permis l'utilisation de ces agrégats pour la couche de ballast des chemins de fer, ainsi que pour les travaux de construction des bâtiments et des routes.

VI-2-2- Stratigraphie du gisement

Sur le plan géologique, la région fait partie du territoire de l'Atlas Tellien, et sa structure comprend les roches d'âge différents, allant du précambrien au quaternaire.

a) Le Précambrien

Il est représenté essentiellement par une variété de schistes (phyllites) métamorphisés, intercalés par de bancs étroits de quartzites gris à gris clair. La puissance des dépôts dépasse 200 mètres.

b) Le Trias

Il est très répandu dans les limites de la chaîne calcaire où sont rencontrés surtout les grès quartzeux et les arkoses rouges. On y rencontre aussi des inter-couches de gravellites et de poudingues. Parfois, on y retrouve des couches d'argilites roses et lilas.

c) Le Jurassique

Il est reconnu par le Lias (jurassique inférieur) et le Malm (jurassique supérieur)

C1) Le Lias : il est subdivisé en deux unités, inférieure et supérieure

- **l'unité inférieure** est représentée essentiellement par les calcaires et les dolomies massives de couleur gris clair et d'une puissance de 500 mètres environ.
- **l'unité supérieure**, repérée sur les versants Sud de Djebel Bouzegza et Draâ Samar en concordance sur les calcaires massifs de l'unité inférieure, est constitué essentiellement de calcaires argileux gris, d'une puissance de 150 mètres environ.

C2) Le Malm : il est rencontré sous forme de petites écailles au niveau d'un grand accident sublatitudinal longeant le versant Sud de la chaîne calcaire entre des terrains du Crétacé supérieur et du Paléogène. Il est constitué par des argiles rougeâtres, avec des radiolarites de couleur verdâtre et cerise.

d) Le Crétacé inférieur

Représenté essentiellement par des formations flyschoides, il est subdivisé en Néocomien-Aptien et Aptien-Albien.

d1) Le Néocomien- Aptien : d'une puissance de 500 à 700 mètres environ, il repose sous forme d'une grande écaille représentée par une alternance régulière de couches de grès quartzeux blanc et gris, et d'argilites;

d2) L'Aptien-Albien : constitué de flyschs formés par une alternance régulière des grès et surtout d'argilites; il a une puissance de 100 mètres environ.

e) Le Crétacé supérieur (Sénomaniens)

Sur une épaisseur de plus de 100 mètres, il est représenté par des marnes schisteuses uniformes grises et gris foncé. En contact avec des dépôts du Crétacé inférieur et du Paléogène, il est pourtant séparé de ces derniers par des accidents disjonctifs.

f) Le Paléogène

Il est subdivisé en deux unités, à savoir l'Eocène et l'Oligocène

f1) L'Eocène

- **L'Eocène moyen (Lutétien):** se rencontre sous forme de blocs tectoniques en nappes et en écailles; ce sont des calcaires massifs gris et gris clair, renfermant de nombreux foraminifères. Au-dessus de l'assise, épaisse d'environ 100 mètres, repose une formation flyschoise formée de grès grisâtre alterné avec des argiles, des calcaires gris et des marnes. Cette formation est d'une puissance de 100 m environ.

- **L'Eocène supérieur:** correspond à une formation flyschoïde, en lits moyens en présence d'arkoses, de calcaires grisâtres, alternés avec des marnes micacées grises et gris verdâtres. Par endroit dans la partie sud de la région étudiée, cette formation flyschoïde incorpore des couches de conglomérats polygéniques (jusqu'à 5 mètres de puissance). La puissance de ces dépôts est de 600 à 800 mètres environ.

f2) L'Oligocène

Il correspond à une formation de flyschs alternée par des grès et des marnes. Dans la partie inférieure de l'assise. Il y a une alternance de bancs puissants de 5 à 10 mètres de grès gris, de calcaires, de quartz-micas et de marnes micacées. La puissance de l'assise atteint 1000 mètres.

g) Le Quaternaire

Il est représenté en général par :

- un type alluvionnaire se trouvant dans les lits actuels des oueds et sur les terrasses;
- les travertins formés par les sources qui sortent en surface et traversent des couches de roches carbonatées.

La puissance des dépôts du quaternaire varie de 1,5 à 3 mètres.

VI-3- LES FORMATIONS MAGMATIQUES

Elles sont représentées essentiellement par des métagabbrodiorites et des granitogneiss.

- ❖ Les métagabbrodiorites sont des roches massives schisteuses, en grains fins verdâtres et gris- verdâtres de teneur élevée en chlorite;
- ❖ Les granitogneiss sont des roches grises à gris-clair, rarement rosâtres, comportant du feldspath (jusqu'à 50 à 70%), du quartz (20 à 30%) et du mica-clair.

VI-4- TECTONIQUE

On note deux types de déformation dans la région, les déformations souples et les déformations cassantes :

- ❖ les déformations souples se manifestent par un vaste dôme anticlinal à grand rayon de courbure, dont l'axe est de direction Est-Ouest;
- ❖ les déformations cassantes se traduisent par des accidents s'organisant en plusieurs familles selon leurs directions, à savoir:

- les accidents transversaux de direction Nord-Ouest et Sud- Est ;
- les accidents Nord-Sud qui interceptent les accidents Est-Ouest;
- enfin un grand accident de direction Est-Ouest, situé au Nord mettant en contact la série des flyschs avec les formations calcaireuses .

VI-5- HYDROGEOLOGIE

En recherche hydrogéologique de surface, les observations simples faites dans certains trous de sondage, n'ont signalé aucune présence d'eau souterraine. Par contre, on note l'existence de deux points d'eau se trouvant à l'Est et au Sud du gisement, et qui alimentent l'unité en eau potable.

VI-6- TECHNIQUE D'EXPLOITATION

VI-6-1- Méthode d'exploitation

Tenant compte de la nature du gisement (calcaire dur), et du fait qu'il s'agit d'exploitation d'un gisement superficiel situé en hauteur (montagne), la méthode d'exploitation appropriée de par l'expérience est en gradin.

a) La hauteur du gradin

la hauteur du gradin est estimée en fonction de plusieurs paramètres :

- La stabilité du talus du gradin, et dans ce cas il s'agit d'un gisement très stable;
- La hauteur de l'engin d'excavation ;
- La capacité de production ;
- La puissance des engins de foration, et l'unité Kéddara disposait d'une pelle RH25 ayant une hauteur assez considérable.

Ainsi, en fonction de ces paramètres, on a opté tout d'abord pour le choix d'une hauteur de gradin à 12 m.

Actuellement, du fait de la disponibilité d'une pelle KOMATSU WA 600, caractérisée par une hauteur limitée du godet levé à son maximum, ainsi son hauteur devrait être diminuée pour des raisons sécuritaires.

b) L'inclinaison du gradin

L'inclinaison du gradin dépend essentiellement de la stabilité du gisement en exploitation, et dans ce cas, on a choisi une inclinaison de 80° .

c) La berne de sécurité

La berne de sécurité est la largeur que l'on doit laisser inexploitable au bord de la carrière, une fois le gradin épuisé. Pour ce gisement, une berne de sécurité de quatre (04) mètres suffit.

VI-6-2- Rentabilité de la méthode

L'exploitation commence de haut en bas, ce qui permet un roulage facile du fait que les DUMPERS en charge descendent, et on a ainsi :

- ❖ une facilité d'ouverture des gradins;
- ❖ un front de travail assez large ;
- ❖ une maniabilité de l'exploitation, c'est à dire qu'on peut travailler en parallèle en exploitant et en ouvrant d'autre niveaux inférieurs.

VI-6-3- Méthodes d'extraction et d'abattage

La dureté de la roche exploitée est de l'ordre de huit (08) selon l'échelle PROTODIAKOUNOV, pour cela la méthode d'extraction ne peut être que l'abattage à l'explosif.

a) Paramètres de foration et tir

a1) Diamètre du trou

Le diamètre de trou est choisi selon la capacité de l'engin de foration, la maille de foration, la nature du gisement, ainsi que du type d'explosif à utiliser. Il a été vérifié expérimentalement que le type d'engin de foration utilisé dans cette carrière donne un meilleur rendement avec un diamètre de 89 mm.

a2) La profondeur de trou

La profondeur de trou ne se limite pas à la hauteur du gradin du fait qu'il doit y avoir un surplus à la profondeur pour nous permettre d'éliminer les rebords au pied du gradin. Elle est estimée dans ce cas à 1mètre, et la longueur des trous est $L=13m$.

a3) La ligne de moindre résistance

La ligne de moindre résistance (W), qui est fonction de la hauteur du gradin et de sa stabilité, est égale dans notre cas à 3 mètres..

a4) La distance entre trous

$$a = 2,8 \text{ m}$$

a5) La distance entre les rangées

$$b = 2,6 \text{ m}$$

a6) Consommation spécifique d'explosif

Dans les carrières, il a été vérifié expérimentalement que la consommation spécifique d'explosif est de l'ordre de $q = 0,35 \text{ Kg/m}^3$

a7) Quantité de charge par trou

$$Q_{\text{ch}} = \frac{Q * H(W + b)}{2} * a$$

$$Q_{\text{ch}} = \frac{0,35 * 12(3 + 2,6)}{2} * 2,8 = 34,65 \text{ Kg/m}^3$$

a8) Type d'explosif utilisé

L'utilisation de marmanite II additionnée à de l'anfomil a donné des résultats satisfaisants. Pour cela, il est recommandé d'utiliser: 25 Kg d'anfomil ajouté à 10 Kg de Marmanite II.

b) Méthode d'amorçage et tir de charges

L'utilisation du cordeau détonnant offre de meilleures conditions sécuritaires, du fait que le détonateur se trouve en dehors du trou. L'allumage qui se fait à travers une mèche lente, est transmis au détonateur; puis véhiculé ensuite par le cordeau jusqu'au fond du trou, où la charge serait amorcée.

c) Disposition de la charge des trous

Il se trouve que la régularité du tir est meilleure lors de l'utilisation des charges discontinues et les rebords se trouvent minimisés, c'est pour cela que ce type de chargement est recommandé.

VI-7- PRODUCTION DE LA STATION SECONDAIRE

La capacité de production de cette station secondaire est de 300 tonnes/h. Compte tenu de la vétusté des équipements, on est amené à considérer un coefficient d'utilisation à 60%.

Production par poste

$$P_p = P_h * K_u * N_h$$

$$P_p = 300 * 0,6 * 6 = 1080 \text{ tonnes/poste}$$

P_p : Production par poste;

K_u : Coefficient d'utilisation; N_h : Nombre d'heures par poste.

 Production par jour

$$P_j = P_p * N_p$$

$$P_j = 1080 * 2 = 2160 \text{ tonnes/jour}$$

P_j : Production par jour ;

N_p : Nombre de poste par jour.

 Production annuelle

$$P_a = P_j * N_o$$

$$P_a = 2160 * 280 = 604800 \text{ tonnes/an}$$

P_a : Production annuelle ;

N_o : Nombre de jours ouvrables par an.

Soit une capacité de production annuelle en m^3 d'environ de 420000 m^3

La capacité de production de la carrière doit être d'environ 440000 m^3

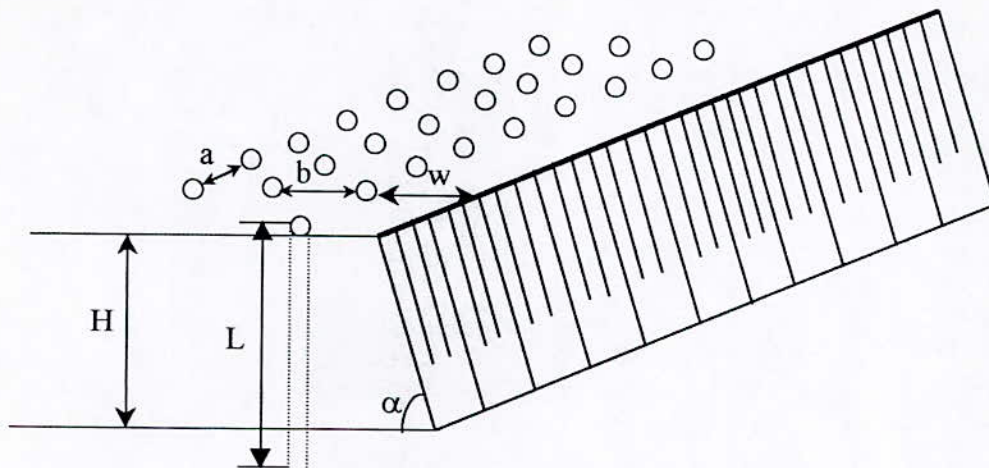


Figure 03 : Paramètres du gradin

- a: la distance entre les trous est égale à 2,8 m
- b: la distance entre les rangées est de 2,6 m
- w: la ligne de moindre résistance est égale à 3 m
- H: la hauteur du gradin atteint 12 m
- L: la longueur de trou est de 13 m
- α : l'angle de talus est égale à 80°

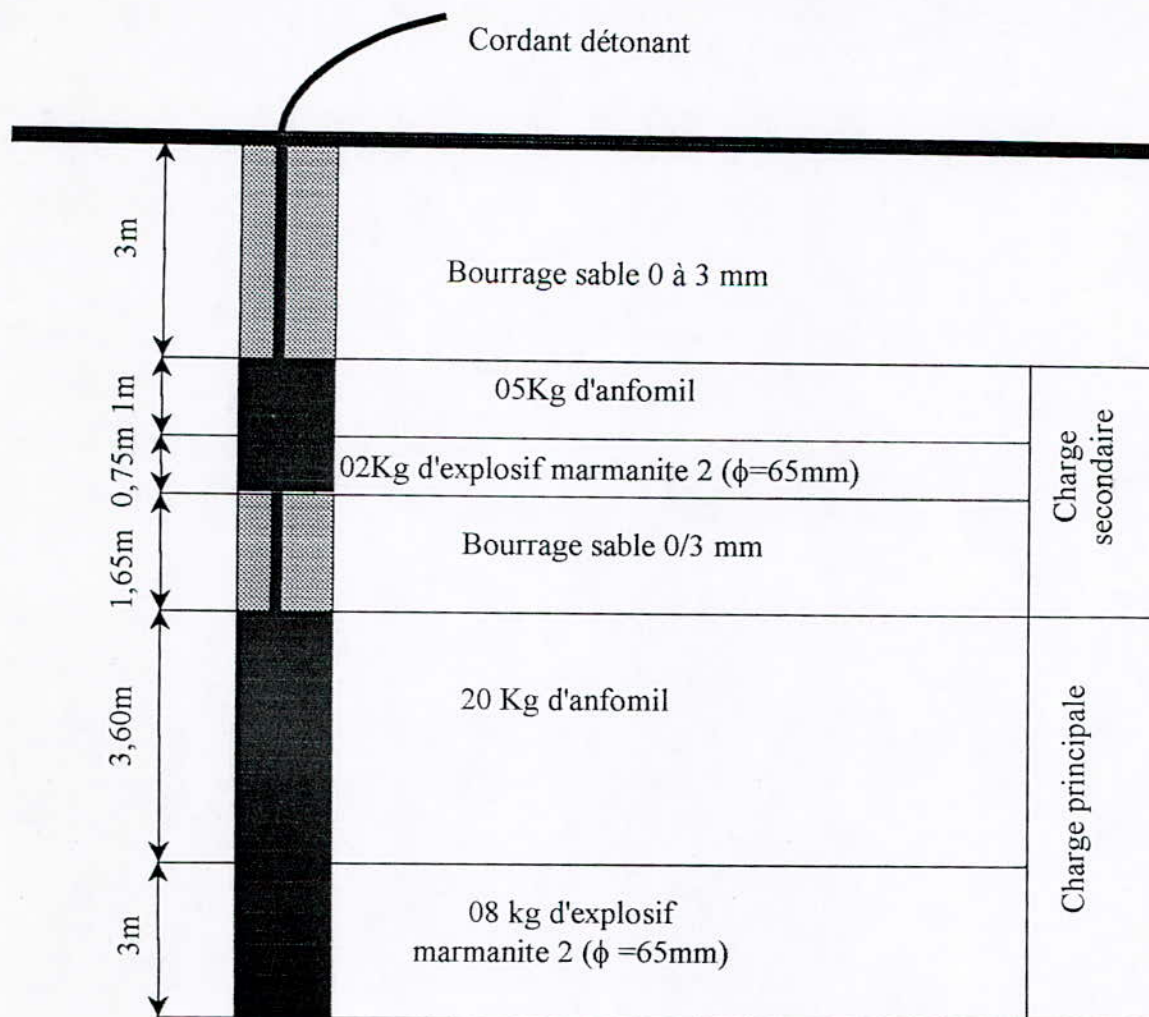


Fig 04 : Diagramme d'un trou

Charge : discontinue

Chargement d'un trou : 10kg d'explosif + 25Kg d'anfomils

Longueur de trou : 13m

Diamètre de trou : 89mm

VI-8- TRAITEMENT

Le tout venant calcaire est transformé en granulats de diamètre compris entre 0 et 70 mm sur une installation de concassage BABBITLESS au rendement théorique annuel d'un million de tonnes.

La station peut être divisée en trois (03) parties principales :

- ❖ le primaire;
- ❖ le stock tampon;
- ❖ le secondaire.

VI-8-1- Le Primaire

C'est le début de toute une chaîne complexe ; il comprend un concasseur giratoire de 800 tonnes/heure, un précrible COMESSA, un crible avec goulotte by-pass, un convoyeur pour stériles de 0 à 40 mm de diamètre et un grand convoyeur allant vers le stock tampon.

VI-8-2- Le stock tampon

C'est la partie intermédiaire d'où le secondaire tire les granulats allant de 0 à 200 mm à l'aide de deux extracteurs. On trouve à ce niveau un troisième extracteur, un crible et un petit convoyeur pour l'obtention de granulats de 0 à 80 mm de diamètre (actuellement le diamètre est de 0 à 200mm) . Il est à signaler que ce stock est entièrement couvert, et qu'il permet au secondaire de tourner pendant un poste en cas d'avarie au niveau du primaire. Le volume utile maximum est de 1,50 m³.

VI-8-3- Le secondaire

A la différence des deux premières parties, c'est la partie la plus complexe ; elle comprend la zone des concasseurs qui sont au nombre de quatre (04) : BS 706, BS 704N, BS 704 EG et BS 702.

La zone des cribles en hauteur et trois convoyeurs acheminent les produits des concasseurs vers les cribles.

Une série de trémies reçoit les granulats par granulométrie, leur vidange est opérée à l'aide d'une goulotte commandée par un vérin pneumatique, et les produits sont déchargés sur des camions.

Un concasseur annexe prévu pour le recyclage de la grosse granulométrie (BS 704 EG) est disponible aussi.

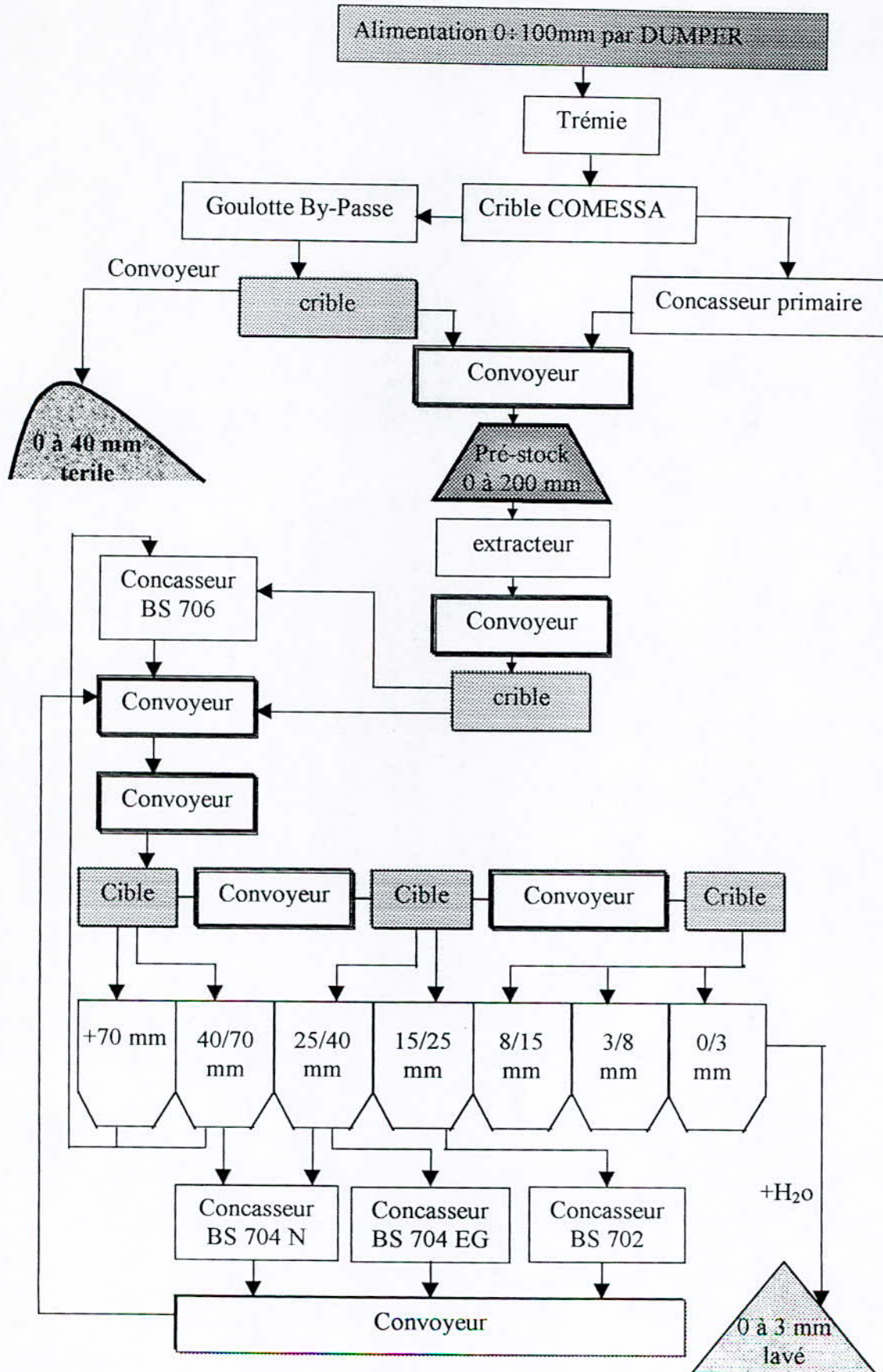
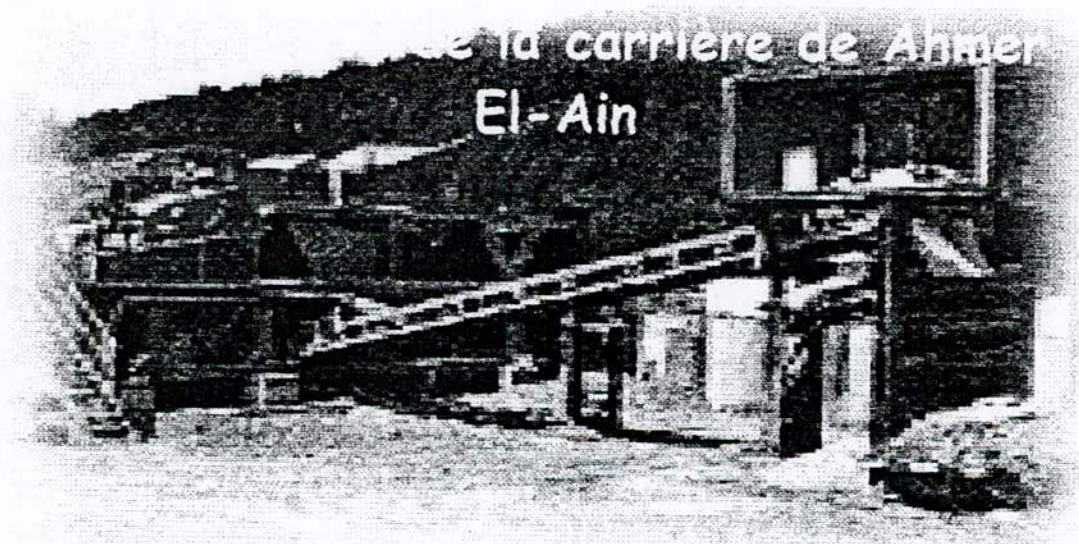


Fig 05 : LUXOGRAMME DE LA STATION

Chapitre VII:



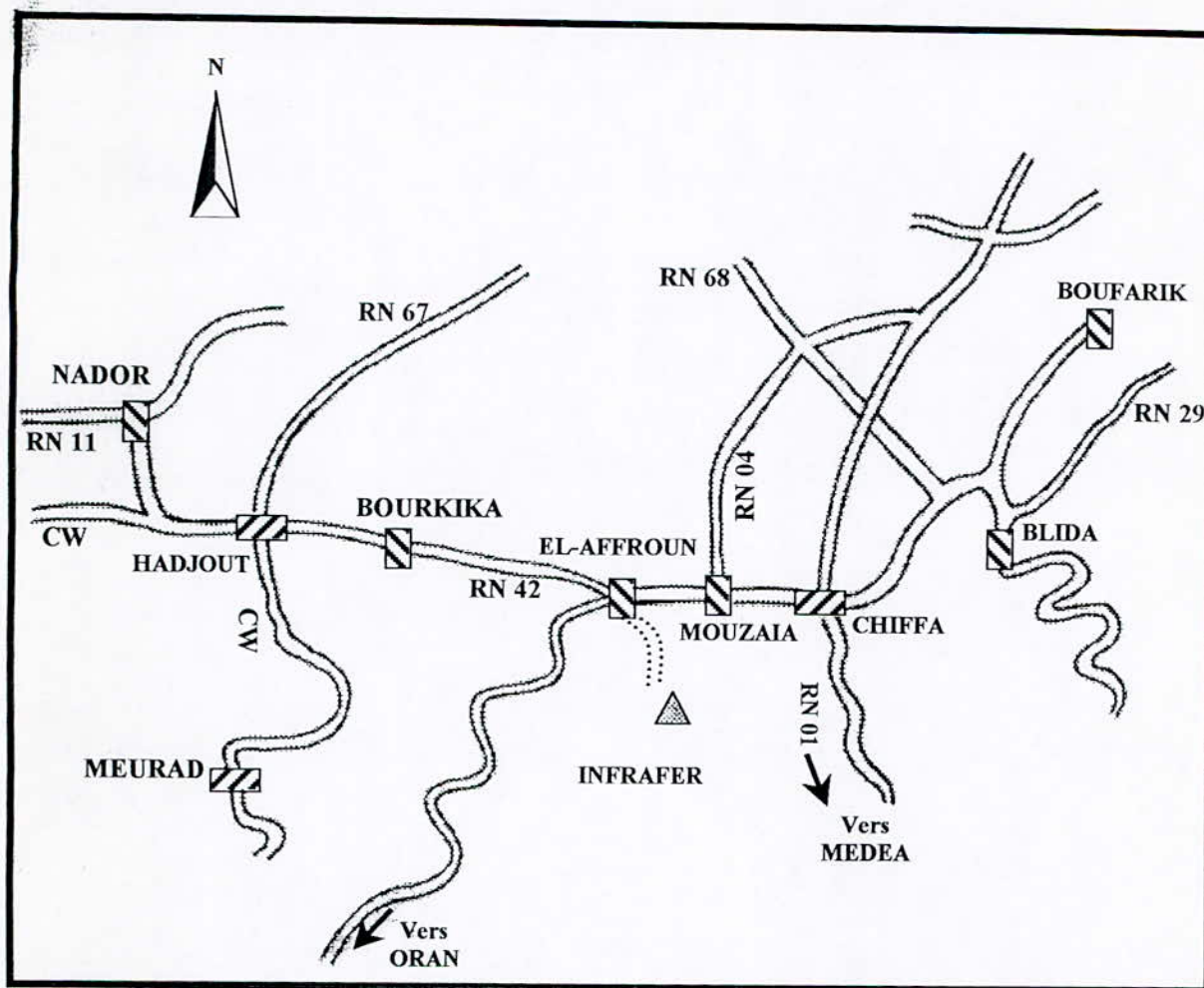


Figure 06 : Situation géographique de la carrière Ahmer El-Ain

VII-1- SITUATION GEOGRAPHIQUE

Cette carrière, qui est située au lieu dit Bled Boutchour de la commune de Oued-Djer, (daïra d'El-Affroun), fait partie des unités productrices de granulats à auditer dans le cadre du Plan d'Action Granulats Routiers (P.A.G.R).

L'accès à cette unité de production se fait à partir de Blida par la RN 42 (figure 06).

VII-2- APERCU GEOLOGIQUE

Le gisement est constitué d'une roche volcanique, l'andésite à grain fin à moyen et à texture microlitique. Il ne présente pas à première vue d'orientation préférentielle dans les épanchements volcaniques. La fracturation, omniprésente a les directions suivantes : N240, N290 et N200.

La fracturation subméridienne (N190 à N200) verticale est très visible dans le gisement. La couverture stérile, qui est très importante (10 à 15 mètres de puissance), se compose essentiellement de terre végétale et d'andésite altérée.

Les possibilités d'extension ne semblent pas très claires (problème d'environnement à l'Est, couvert forestier vers le Sud-Est). Une étude est nécessaire pour voir la géométrie des épanchements volcaniques.

VII-3- CONDITIONS D'EXPLOITATION MINIERE

L'excavation présente un front de taille longiforme, avec une succession de trois (03) banquettes de 10 à 15 mètres en butte au front de taille. Ce front de taille surplombe une plateforme de travail assez large, avec une longueur de près de 200 mètres. L'accès au premier gradin existe, mais il est à réaliser pour les deux autres. Les travaux sont totalement arrêtés sur le gisement en raison du manque de substance explosive. La reprise devrait commencer par le haut sur le dernier gradin pour permettre de découvrir les deux autres gradins inférieurs.

VII-4- PRODUCTION ET RENDEMENT

la production et le rendement de l'unité d'INFRAFER pour l'année 1993 sont illustrés par les chiffres suivants :

- Capacité nominale annuelle : 420000 tonnes
- Production : 144344 tonnes
- Rendement : 34%

Ce rendement faible est justifié par des arrêts de :

- 500 heures, soit l'équivalent de 25% du temps de fonctionnement, en raison de la rupture d'approvisionnement en substances explosives ;
- 208 heures, correspondant à 10% du temps de fonctionnement, pour pannes mécaniques des installations ;
- 148 heures, égale à 7% du temps de fonctionnement, pour pannes d'énergie ;
- 159 heures, période équivalente à 8% du temps de fonctionnement, pour immobilisation des installations et réparation, suite à un incident lié à la situation conjoncturelle ;

Il est à noter que la rupture d'approvisionnement en substances explosives est la raison principale du faible rendement obtenu. Cependant, outre les raisons citées ci-dessus, ce faible rendement est dû aussi :

- ❖ aux travaux d'exploitation de la carrière qui sont menés sans aucun plan directeur. Une étude géologique et un plan d'exploitation sont à élaborer et à mettre en œuvre ;
- ❖ à l'absence de formation du personnel, notamment sur le matériel fixe (station d'élaboration). Ainsi un plan de formation est souhaité par l'exploitant et devra être mise en œuvre ;
- ❖ aux moyens de foration, équilibrant à peine la capacité nominale des stations d'élaboration, et qui doivent être renforcés.

VII-5- TRAITEMENT

La carrière d'INFRAFER dispose de deux chaînes de production dites aussi stations de traitement.

VII-5-1- La station de traitement n°1

Cette station est dimensionnée à 77 tonnes/h, et le procédé de traitement est réalisé par :

- ❖ un distributeur-alimentateur à tiroir ;
- ❖ un concasseur à mâchoire ;
- ❖ un broyeur secondaire ;
- ❖ un crible vibrant ;
- ❖ deux broyeurs à cylindre ;
- ❖ un crible vibrant.

VII-5- 2- La station de traitement n°2

La capacité de cette station est de 140 t/h avec le procédé de traitement suivant :

- ❖ un alimentateur à tablier vibrant avec des grilles de scalpage de 70 mm et 30 mm;
- ❖ un concasseur à mâchoires;
- ❖ un broyeur secondaire;
- ❖ un crible vibrant (de 3 à 8mm);
- ❖ un crible vibrant (de 25 à 60mm) .

VII-6- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

1- Le gisement

Une étude géologique est nécessaire pour définir les réserves et la direction d'extension, compte tenu de l'environnement de ce site.

2- La carrière

Les gradins sont en butte au front de taille, il faut reprendre l'exploitation par le haut pour découvrir la matière destinée à l'abattage et permettre une avance normale et simultanée des gradins. Notons que l'exploitation est pratiquement à l'arrêt en raison du manque d'approvisionnement en substances explosives.

3- Le matériel d'exploitation

Le matériel d'exploitation est suffisant dans l'ensemble , mais l'apport d'un groupe de foration est cependant nécessaire pour les travaux de préparation et d'ouverture.

4- Les stations de traitement

Les deux stations totalisent une capacité de 217 tonnes/h. Leur état général est satisfaisant et ne nécessite pas d'action particulière. Aussi, il faut bien conserver les modules qui ne sont pas utilisés.

5- Les moyens humains

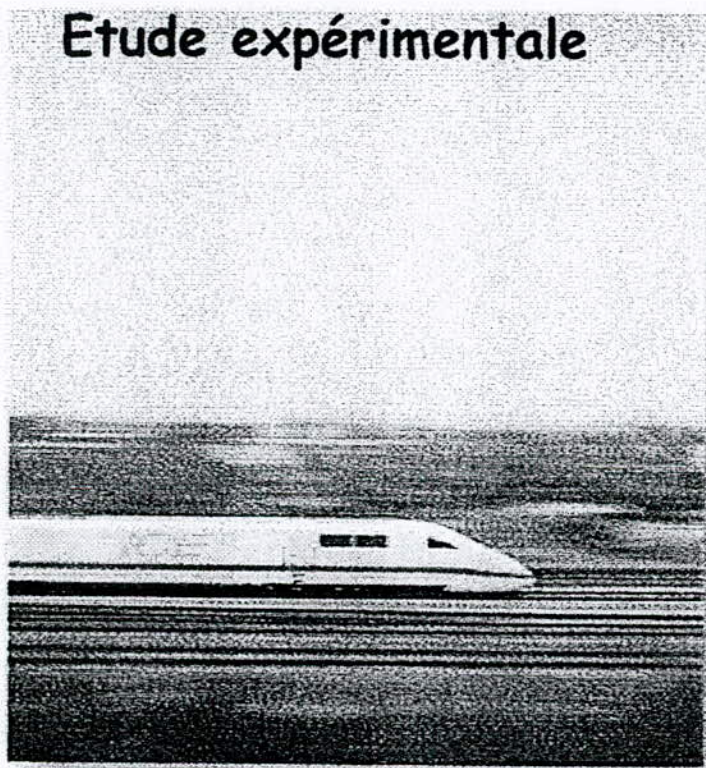
Il faut mettre en œuvre un plan de formation du personnel exploitant et renforcer l'encadrement au niveau du front de taille et des stations d'élaboration.

6- La gestion de l'unité

Le peu de renseignements recueillis, très hétéroclites et peu fiables, ne permettent pas de tirer de conclusions relatives à la gestion de l'unité.

Chapitre VIII:

Etude expérimentale



VIII-1- CARRIERE DE KEDDARA

VIII-1-1 Expérimentation

Les différents essais que nous avons effectués sur les granulats provenant de la carrière de Kéddara, en l'occurrence, le Micro-Deval sec et humide et le Los Angeles et bien entendu les valeurs déduites de Deval sec et Deval humide, ont permis d'avoir les résultats repris par les deux tableaux suivants :

Tableau 09 : (*) Essai de Micro-Deval

Provenance de l'échantillon	La charge abrasive (gramme)	Poids initial P_i du matériau (gramme)	Poids P_f après usure (gramme)	Micro-Deval	Corrélation $M=80/MD$
Kéddara	5000±5	500	426	MDH=5,4	DH=5,4
	5000±5	500	465,8	MDS=6,84	DS=11,7

$$MD = 100 * \frac{500 - P_f}{500}$$

Tableau 10 : (*) Essai Los Angeles

Provenance de l'échantillon	Nature de l'échantillon	Classe granulaire	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	m_f : masse sèche après pesée (g)	Coefficient Los Angeles
Kéddara	Calcaire dure	25/50	12	5280	3645	27,7

$$LA = \frac{5000 - m_f}{5000} * 100$$

Remarque :

La classe 25/50 mm doit contenir 60% de 25/40 mm.

(*) Ces essais ont été faits au Laboratoire Central des Travaux Publics (LCTP), Juillet 2000

Pour la dureté relative (DR), c'est la plus faible des deux valeurs obtenues successivement à partir des couples de coefficients : Deval Sec-Los Angeles, Deval humide-Los Angeles
 En utilisant l'abaque suivante, la valeur de la dureté est DR= 12

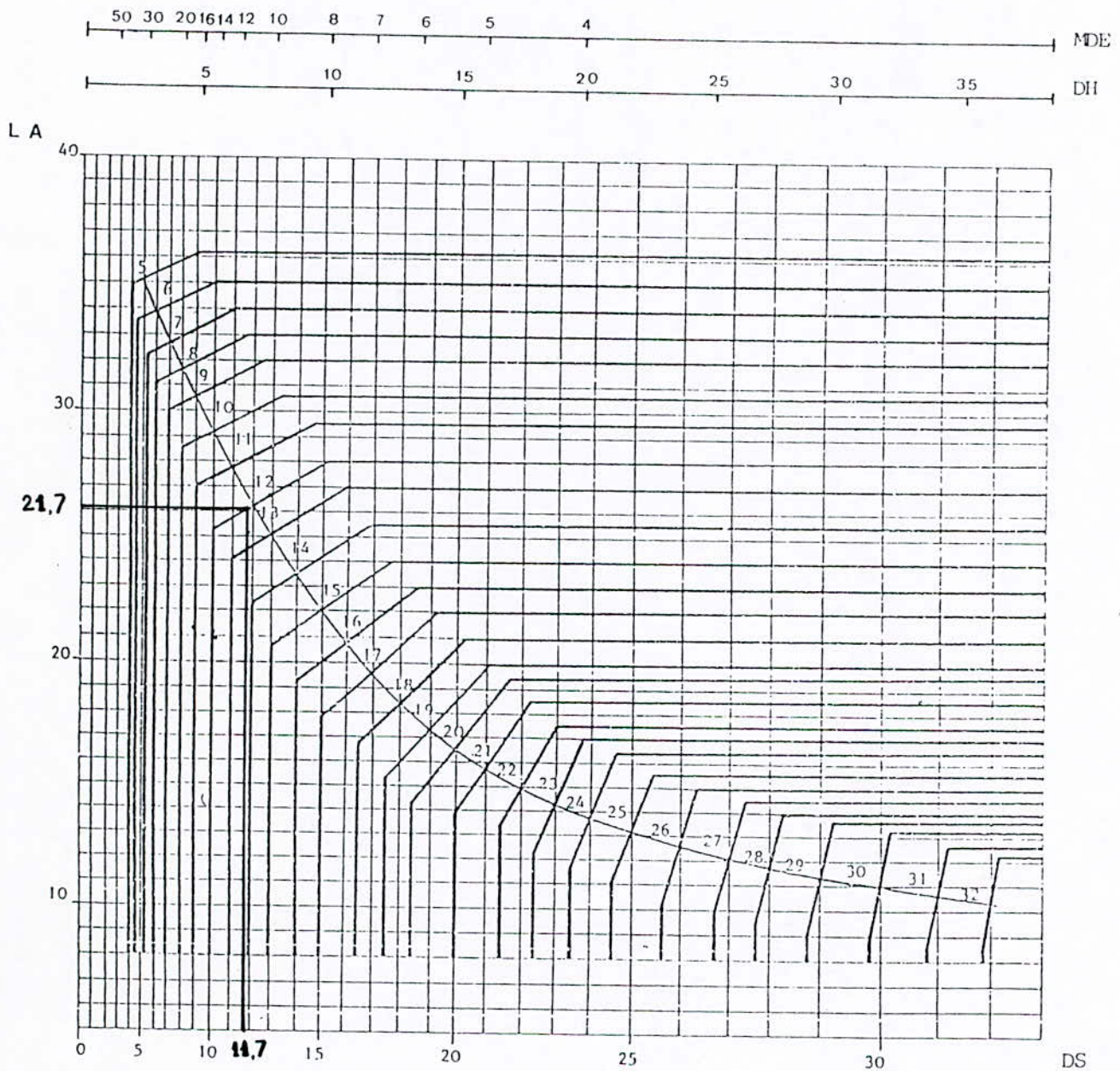
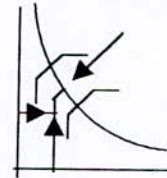


Figure 07 : Détermination du coefficient de dureté DR d'un échantillon en fonction des coefficients « Los Angeles » et « Deval ».

VIII-1-2- Interprétation des résultats

En tenant compte des normes du ballast adoptées par l'Algérie

- ♣ Deval > 9
- ♣ Los Angeles < 34%

on constate que les résultats des essais obtenus sur nos échantillons sont acceptables et conformes aux spécifications exigée pour la production du ballast.

Mais ces résultats sont relativement médiocres en les comparant aux normes adoptées par certains pays Européens, telles que par exemple : la France et l'Italie

Tableau 11 : Les valeurs du Deval

Pays	Valeurs normatives du Deval
France	D > 14 pour les roches dures D > 12 pour les roches carbonatées
Italie	D > 18 très bon 12-18 bon 7-12 moyen D < 7 non acceptable

Tableau 12 : Les valeurs Los Angeles

	Los Angeles
France	L.A < 25%
Amérique du Nord	
▪ Canada National Rail Ways	L.A < 20%
▪ Southern pacific transportation company	L.A < 25%

VIII-2- CARRIERE DE AHMER EL-AIN

VIII-2-1- expérimentation

L'étude de qualité effectuée sur le ballast provenant de la carrière de Ahmer El-Ain comporte les mêmes essais faits sur le ballast de Kédara et qui sont :

- Los Angeles
- Micro-Deval sec
- Micro-Deval humide

Et aussi les valeurs déduites de Deval sec et Deval humide comme il est indiqué sur les deux tableaux suivants :

Tableau 13 : (*) Essai de Micro-Deval

L'origine de l'échantillon	La charge abrasive	Poids initial P _i du matériau (gramme)	Poids P _f après usure (gramme)	Micro-Deval	Corrélation D=80/MD
Ahmer	5000 ± 5	500	407	MDH=18,6	DH=4,3
El-Ain	5000 ± 5	500	460	MDS=8	DS=10

$$MD = 100 * \frac{500 - P_f}{500}$$

Tableau 14 : (*) Essai Los Angeles

L'origine de l'échantillon	La nature de l'échantillon	La classe granulaire	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (gramme)	m _f : masse sèche après pesée (gramme)	Coefficient Los Angeles
AHMER EL-AIN	Andésite	25/50	12	5280	3936	21,28

(*) Ces essais ont été faits au Laboratoire Central des Travaux Publics (LCTP), Juillet 2000

$$LA = \frac{5000 - m_f}{5000} * 100$$

D'après l'abaque la Dureté relative est DR=14

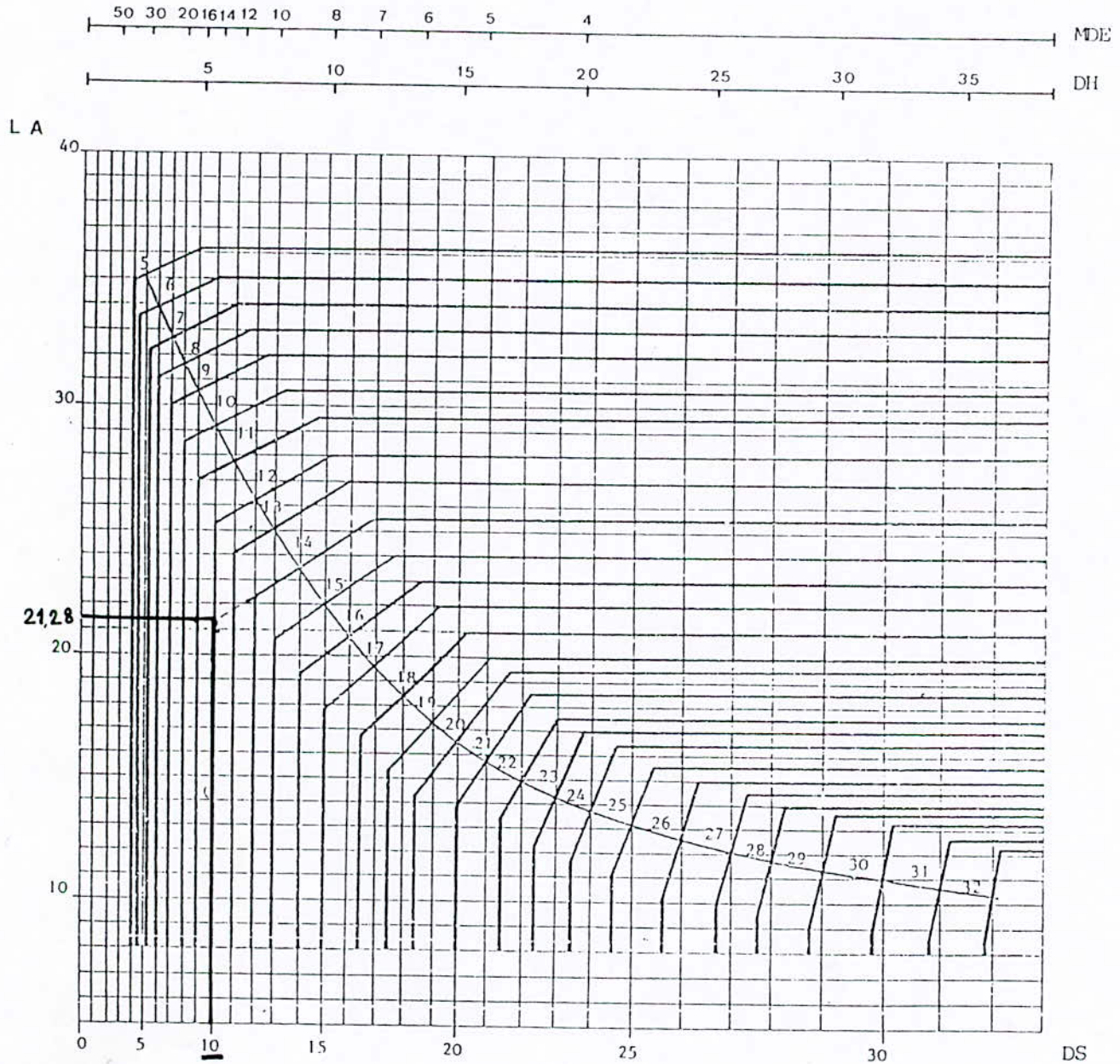


Figure 08 : Détermination du coefficient de dureté DR d'un échantillon en fonction des coefficients « Los Angeles » et « Deval ».

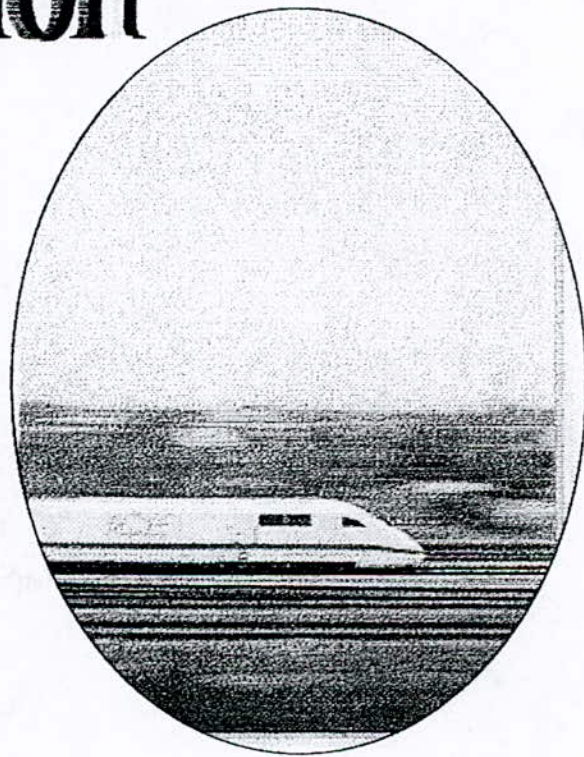
VIII-2-2- Interprétation des résultats :

Si on fait l'analogie entre ces résultats (DS=10, L.A= 21,28) et les valeurs normatives concernant le ballast adoptées par l'Algérie (DS > 9, L.A < 34%), on peut dire que l'andésite de Ahmer El-Ain, donne un ballast relativement de bonne qualité, mais comparées aux normes européennes, les valeurs obtenues correspondent à une qualité du ballast moins bonne. D'autre part, en comparant nos résultats sur l'andésite de la carrière de Ahmer El-Ain avec ceux obtenus par le LCTP en octobre 1989 (voir V-3-1) sur une andésite de la même carrière, on remarque une variation, ceci nous permet de dire que cette andésite est hétérogène (tableau 15) au niveau du gisement de cette carrière.

Tableau 15 : Comparaison entre deux andésites de la carrière de Ahmer El-Ain

Roche	Deval sec	Los Angeles	Date d'essai
Andésite I	15,4	19,5	Octobre 1989
Andésite II	10	21,3	Juillet 2000

Conclusion



IX-1- CONTRIBUTION DE LA GEOLOGIE A L'AMELIORATION DE LA QUALITE DU BALLAST

Les performances du ballast, concassé de pierres, dépendent en un premier temps de la dureté de la roche mère; malheureusement la qualité des roches utilisées en Algérie est le plus souvent moyenne à médiocre.

En effet, la complexité de la géologie de l'Algérie du Nord rend très difficile l'obtention de roches saines et homogènes.

La particularité de cette situation exige la contribution de la géologie pour :

- Améliorer la qualité du ballast: **Organisation de l'exploitation des carrières**
- Sélectionner les meilleures roches : **Orientation de la prospection.**

Aussi, nous essayons dans ce qui suit de donner quelques orientations géologiques permettant d'obtenir des roches de ballast de meilleures qualités.

IX-2- LES ROCHES SEDIMENTAIRES

Parmi les roches sédimentaires, les calcaires très abondants en Algérie du Nord , sont de loin les roches les plus utilisées pour la production du ballast.

IX-2-1- Les calcaires de l'Aptien néritique

Les résultats obtenus sur ce type de roches sont :

$12 < \text{Deval sec} < 14$; $18 < \text{Los Angeles} < 20$; Dureté Relative Générale=14

(d'après le rapport RITES sur les calcaires néritiques du Djebbal Debbar, Guelmua)

Ces roches sont très connues dans le grand Constantinois (Bounouara, Ain Mlila) et Saida.

IX-2-2- Les calcaires dolomitiques

Ces roches peuvent donner d'excellents résultats à la condition qu'un contrôle rigoureux se fasse au niveau des carrières. En effet, ces roches sont très connues en Algérie du Nord, et affleurent au niveau de la dorsale kabyle et du domaine Tellien (oued El-Harrach, El- Attaf, etc.)

IX-3- LES ROCHES MAGMATIQUES

Malgré leur faible extension, ce type de roches peut donner d'excellents résultats, plusieurs raisons justifient leur importance :

IX-3-1- Tectonique

Leur mise en place est en général post-tectonique, elles sont donc susceptibles de présenter un bon état de conservation.

IX-3-2- Pétrographie

Au vu de leurs compositions minéralogiques, ces roches peuvent donner un ballast de bonne qualité. Pour exemple, nous citerons les andésites de Cheraia (Collo).

IX-3-3- Economie

Pour des raisons géologiques, ces roches affleurent en général le long de la côte, On les rencontre d'Est en Ouest à : Annaba, Skikda, Collo, El-Milia, Jijel, Bougie, Boumerdes, Tipaza, ... jusqu'à l'Oranie; ces régions sont en général facilement accessibles (routes et voies), ce qui réduit à priori les coûts de transport et d'exploitation.

IX-4- LES ROCHES METAMORPHIQUES

Ce type de roches n'est pas actuellement utilisé pour la production du ballast pour plusieurs raisons :

- * forte altération en surface due à leur âge et surtout aux phénomènes tectoniques ;
- * débit en feuillets parallèles (foliation).

Cependant , les observations sur les gneiss d'Annaba (Ex-carrière André Mariage) et de Skikda (carrière Bourouiss, El-Hadaik) montrent qu'il peut exister des roches métamorphiques saines et dures.

Enfin, l'amélioration de la qualité du ballast sera immédiate et significative si l'on prend en charge, dans sa globalité, l'exploitation de la carrière (production, réglage du matériel, stockage et transport du ballast).

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Code UIC, 719 (ouvrage enterre et couches d'assise ferroviaires), 2^e édition, 01.01.94
- 2) Séminaire sur le ballast, 26 février 1990, Centre de Recherche Ferroviaire (CRF)
- 3) La voie ferrée, annexe, Jean Alias, 2^e édition
- 4) les structures d'assise, annexe, Jean Alias 2^e édition
- 5) Mémoires de fin d'étude, Institut Supérieur de Formation Ferroviaire
- 6) Revue générale des chemins de fer, chapitre/les couches d'assise de la voie ferrée, Roland SAUVAGE, Gilles RICHEZ, décembre 1978-97^e année
- 7) Article tiré du service des mines , wilaya de BLIDA, carrière Ahmer El-Ain, INFRAFER
- 8) Article tiré de l'unité de Kéddara, INOF

WEBOGRAPHIE

- 1) http://www.vigier.com/Français/F_LEBEN.HTM
- 2) http://lwdr.free.fr/rub_technique.html