



Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
Direction des Sols & Matériaux

LES GRANULATS

CANQ
TR
GE
SM
239



Laboratoire
Central

Par: Guy Dallaire , Ing
Complexe Scientifique
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
G1P 3W8

942489

LES GRANULATS

QTRD
—
CANQ
TR
GE
SM
239

REÇU
CENTRE DE DOCUMENTATION

20 JUIL. 2007

TRANSPORTS QUÉBEC

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
330, CHEMIN SAINTE-FOY
8^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC)
G1S 4X9

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	1
2. IDENTIFICATION (Tourenq et Denis)	2
2.1 <u>Analyse pétrographique</u>	2
2.2 <u>Esquisse de la Géologie du Québec</u>	3
3. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES	7
3.1 <u>Forme</u>	7
3.2 <u>Angularité</u>	13
4. SOLLICITATIONS MÉCANIQUES	18
4.1 <u>Fragmentation</u>	18
4.2 <u>Usure de la macrorugosité en présence d'eau</u>	19
4.2.1 Revêtements	20
4.2.2 Fondations.	21
4.3 <u>Résistance au polissage</u>	22
5. SENSIBILITÉ AUX AGENTS ATMOSPHÉRIQUES	24
5.1 <u>Sensibilité au gel</u>	24
5.2 <u>Altérabilité</u>	27
5.2.1 Mécanisme de dégradations de granulats soumis à des coups de flamme dans les tambours sécheurs	27
5.2.2 "Soupe" des enrobés à chaud	28
6. PROPRIÉTÉ	29
6.1 <u>Fines argileuses</u>	29
6.2 <u>Poussière de roches saines</u>	30
6.3 <u>Conclusion</u>	30

LES GRANULATS

1. INTRODUCTION

Les granulats sont des substances granulaires formées d'un ensemble d'éléments solides de dimensions généralement comprises entre 0 et 100 mm; ces éléments sont obtenus par concassage, criblage etc. ... et sont utilisés dans la fabrication de différents matériaux de construction et dans les différentes couches de chaussées.

En technique routière, l'importance de la qualité des granulats a été longtemps sous estimée. L'approfondissement des techniques a conduit, peu à peu, les ingénieurs routiers à prendre connaissance de cet ensemble de particules qui forment, de 90 à 95 % en poids des couches de roulement et de 100 % dans la majorité des cas, des fondations des routes. Ces matériaux granulaires sont soumis à de nombreuses sollicitations. Qu'il suffise d'énumérer :

- les pneus à crampons;
- l'action polissante des pneus
- le trafic lourd et intense;
- le gel et dégel;
- le sablage d'hiver;
- l'action du frottement de l'équipement de l'entretien d'hiver;
- l'action de l'équipement de chantier lors de la construction de routes.

Il est donc nécessaire pour lutter contre l'usure des pavages et leur dégradation lors de la construction de routes, de connaître et de caractériser le mieux possible ces ensembles de fragments.

Aujourd'hui, une attention est portée sur des propriétés très diverses; caractéristiques dimensionnelles, caractères morphologiques, résistance mécanique, stabilité chimique, propreté. Chacune de ces propriétés doit pouvoir être mesurée par des essais conventionnels définis par des modes opératoires précis. Les propriétés des granulats sont intimement liées aux caractères propres des roches originelles; d'autres au contraire dépendent essentiellement des conditions de gisement, d'exploitation et d'élaboration. Ces dernières peuvent être considérablement améliorées par des méthodes d'extraction, de fragmentation et de classement appropriés.

2- IDENTIFICATION (Tourenq et Denis)

2.1 Analyse pétrographique

Le milieu rocheux est très complexe, les roches sont des solides "polycristallins" hétérogènes, composés de grains qui appartiennent à de multiples espèces minérales et qui sont de taille et de forme variées. Les propriétés des roches dépendent de deux éléments fondamentaux:

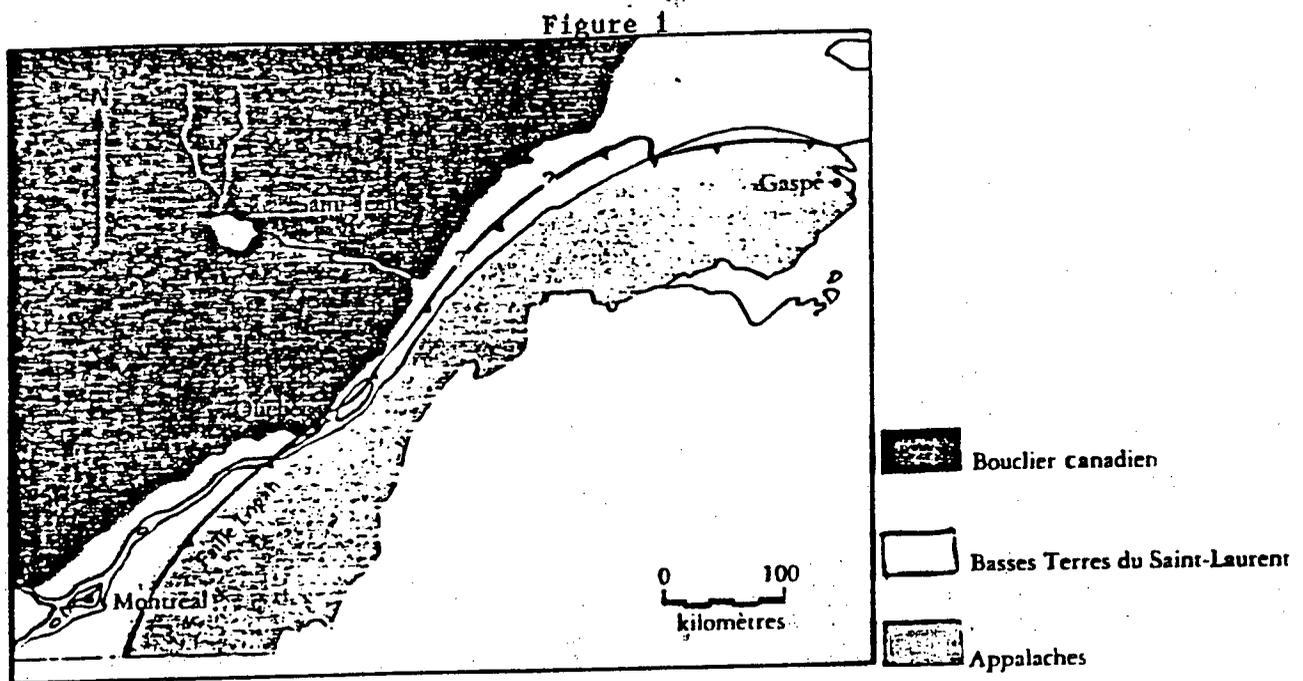
- a) les minéraux dont il faut connaître la nature, les proportions relatives, les dimensions et leur mode d'assemblage;
- b) les discontinuités lesquelles sont associées aux pores, fissures, microlits

L'identification des roches qui comprend la composition minéralogique, la texture et les discontinuités est très utile pour expliquer les propriétés physiques mécaniques. Elle intervient aussi dans la forabilité et l'abrasivité lors de l'exploitation d'un gisement.

2.2. Esquisse de la Géologie du Québec

Ressources en granulats

Même si la recherche identifie, depuis quelques années, de nouvelles sources de granulats, tels les granulats artificiels, la majorité des granulats provient des gisements de matériaux meubles (matériaux alluvionnaires) ou des gisements de roches massives. La nature, la qualité et la quantité des granulats dans ces gisements sont tributaires de l'histoire géologique. La connaissance de celle-ci permet de prévoir les types de roches et les matériaux granulaires disponibles pour une région.



Au point de vue géologique, la province de Québec est divisée en trois unités principales: le Plateau Laurentien, les Basses-Terres du St-Laurent et les Appalaches (voir figure 1).

A- Plateau Laurentien: l'analyse des dépôts rocheux et non consolidés montre majoritairement des matériaux d'origine ignée ou métamorphique de composition granitique. On trouve du quartz, du feldspath associés à de moindres quantités de micas ou de hornblende. L'assemblage, la teneur et l'arrangement de ces minéraux nous ont permis d'identifier surtout les roches suivantes: gneiss granitique, granite, granodiorite, gneiss à biotite ou à hornblende.

B- Appalaches: cette région, qui représente cinq pour cent de la province, comprend généralement des roches sédimentaires et volcaniques en assemblage fortement plissé, bouleversé et envahi par des magmas ignées de granite et de péridotite.

A l'exception des régions des villes de Sherbrooke et Gaspé, l'approvisionnement en matériaux routiers s'effectue, dans plus de 90 % des cas, à partir de gisements de matériaux meubles.

Dans la péninsule gaspésienne, l'analyse pétrographique du gros granulat des graviers montre des calcaires, des grès, des pélites de différentes duretés et des schistes argileux. Le granulat fin se compose de quartz, de feldspath et des éléments de même nature que le gros granulat.

Dans la partie sud des Appalaches, le gros granulat est constitué de schistes à séricité dur et mou, de quartzite et de grès de différentes duretés. Les schistes contiennent des minéraux feuilletés, doux, onctueux et sensibles à l'eau. Les éléments constitutifs du granulat fin sont en général le quartz, le feldspath et le mica.

Le réseau routier des Appalaches est composé, dans plus de 90 % des cas, de routes secondaires dont la surface de roulement est soumise à une circulation de moins de 800 véhicules par jour. Conséquemment, le besoin de granulat de comportement supérieur est réduit. Les recommandations de ce granulat se limitent à des carrefours achalandés.

C- Basses-Terres du St-Laurent: cette plaine triangulaire s'étend sur les deux rives du Saint-Laurent, depuis la ville de Québec jusqu'à la frontière sud (Ontario, Etats-Unis) de la province. Un prolongement de cette plaine remonte la rivière Ottawa jusqu'à l'ouest de Hull. La limite nord est constituée par le front des montagnes des Laurentides qui forment le bord du Bouclier canadien. Au sud-est, les Basses-Terres du St-Laurent sont bornées par la région accidentée des Appalaches.

Les roches consolidées sous-jacentes se composent presque entièrement de roches sédimentaires. Ce sont des grès, des calcaires et des schistes ayant subi peu de dérangement. Les seules roches ignées sont celles des collines montérégiennes (figure 2) qui sont formées d'un groupe de 10 unités constituées de roches à composition variée (granite, syénite, gabbro). Ces collines constituent des petits monticules isolés qui se détachent sur le paysage de la plaine.

La région des Basses-Terres est celle la plus habitée et où on retrouve les routes les plus circulées.

Plusieurs surfaces de roulement sont soumises à plus de 40 000 véhicules par jour, exemple: le boulevard Décarie à Montréal subit une circulation de 120 000 véhicules par jour. Des granulats résistant aux sollicitations mécaniques, climatiques et chimiques s'imposent dans des zones d'accélération et de freinage, des virages, des voies soumises à un trafic lourd et intense. La recherche de sources de granulats de comportement supérieur dans les roches ignées de collines montréalaises s'est avérée satisfaisante. Des lits massifs de dolomie gréseuse du groupe de Beekmantown présentent des matériaux conformes à plusieurs exigences. Ces deux catégories de roches ont été d'ailleurs utilisées dans la région de Montréal.

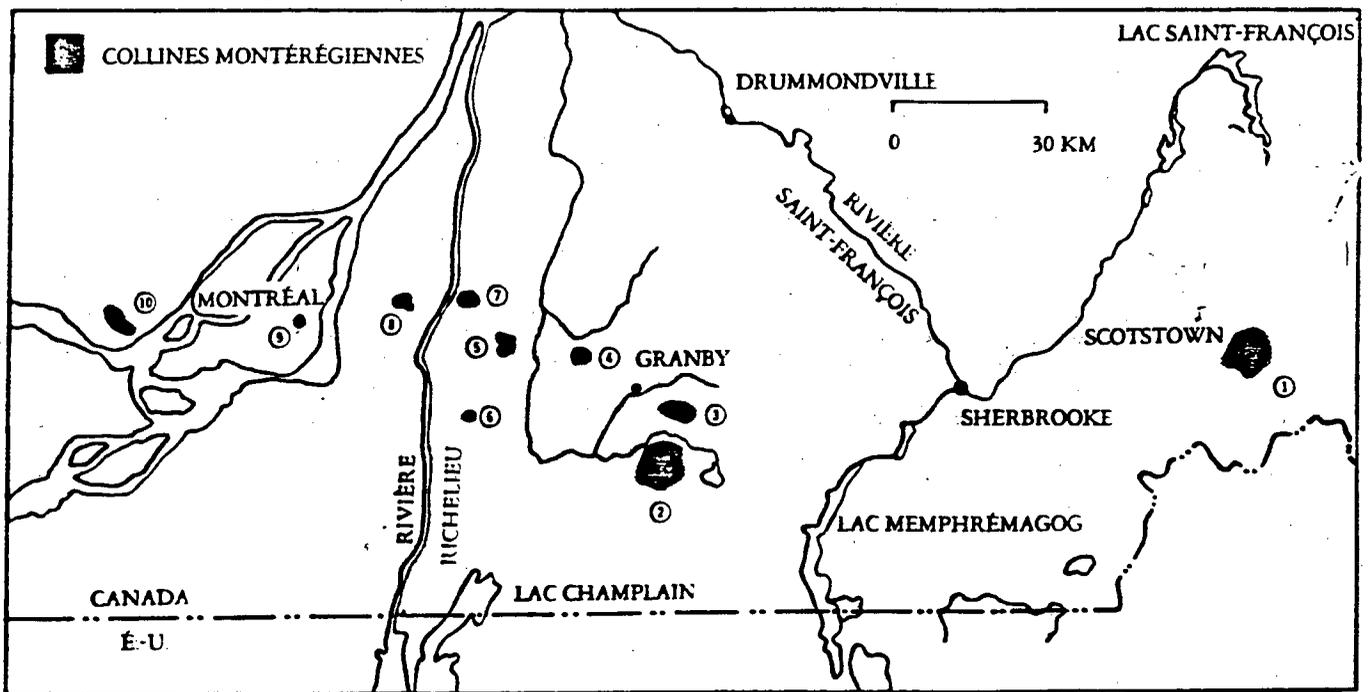


Figure 2 : Les collines montréalaises

Landry et Mercier

3. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

Un granulat est un solide à surface rugueuse et présentant des arêtes plus ou moins accentuées. Pratiquement, on distingue trois (3) formes : cubique, plate et allongée. Un matériau alluvionnaire dont les éléments ont été roulés lors du transport par les cours d'eau, est plus ou moins arrondi; lorsque l'on concasse ces éléments, on crée des angles et le matériau voit son angularité augmenter. La géométrie du granulat doit donc être pris en compte.

3.1 Forme

Granulats fins

La morphologie de grains de sable a été, comme ailleurs, oubliée au Québec. Pourtant la forme de ceux-ci est essentielle pour des propriétés telles que la compacité des mélanges, l'angle de frottement, la maniabilité. Nous n'avons pas, à date, de moyens de mesure, comme pour le gros granulat, de forme sphérique, cubique, plate et allongée. Pour la morphométrie de grains de sable, nous envisageons une étude comprenant l'utilisation d'analyseurs d'images et des quantimètres. Nous sommes d'avis que toute recherche doit d'abord porter sur les formes possibles, du grain de quartz lequel constitue un élément important dans des formations géologiques du pléistocène.

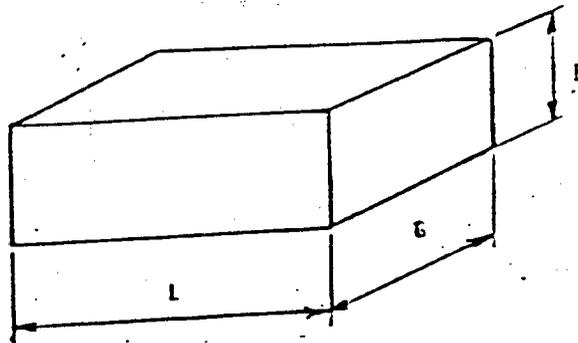
Des sables de quelques régions du Québec ont été examinés au microscope binoculaire. Les observations ont été photographiées et comparées à des figures de chartes de sphéricité et d'émoussé de groupes de grains (Krumbein et Sloss). Les sables fins correcteurs pour les mélanges bitumineux, de la péninsule gaspésienne montrent des surfaces irrégulières et angulaires et contribuent ainsi à augmenter la

stabilité et à une résistance à la déformation des revêtements bitumineux. La présence de minéraux phylitieux, de grès feldspathiques, de schistes dur explique que la composition minéralogique a une influence sur la forme des sables.

Gros granulats

La forme est définie par la relation existant entre les trois (3) axes: longueur (L), largeur ou grosseur (G) et épaisseur (E).

Figure 3.1



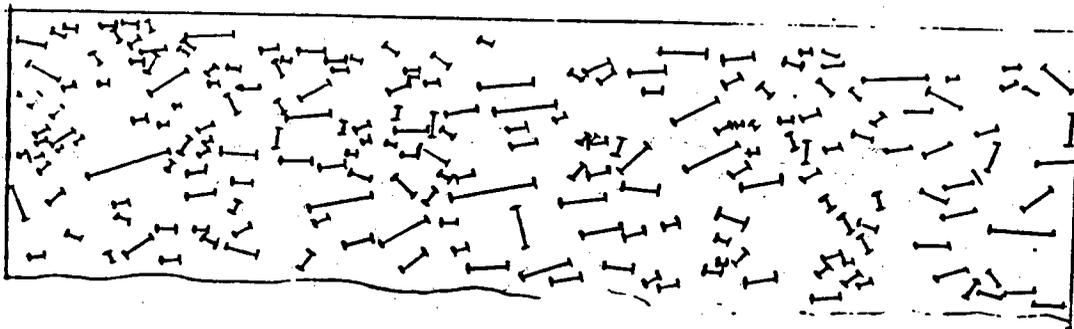
Les rapports $\frac{L}{E} > 1,8$ et $\frac{E}{G} < 0,6$ définissent les particules allongées et plates. Les jauges d'ouvertures standard définies dans la norme British Standard 812 servent de moyen de mesure.

La forme donne des indications sur la stabilité, la maniabilité et la résistance à la déformation. Une étude de W. D. Paterson, université de Canterbury, Nouvelle-Zélande, montre que l'inclinaison du grand axe L, de chacun des gros granulats d'un pavage compact est inférieure à huit (8) degrés au-dessus de l'horizontal (fig. 3.2).

Figure 3.2

SECTION D'UN PAVAGE COMPACT

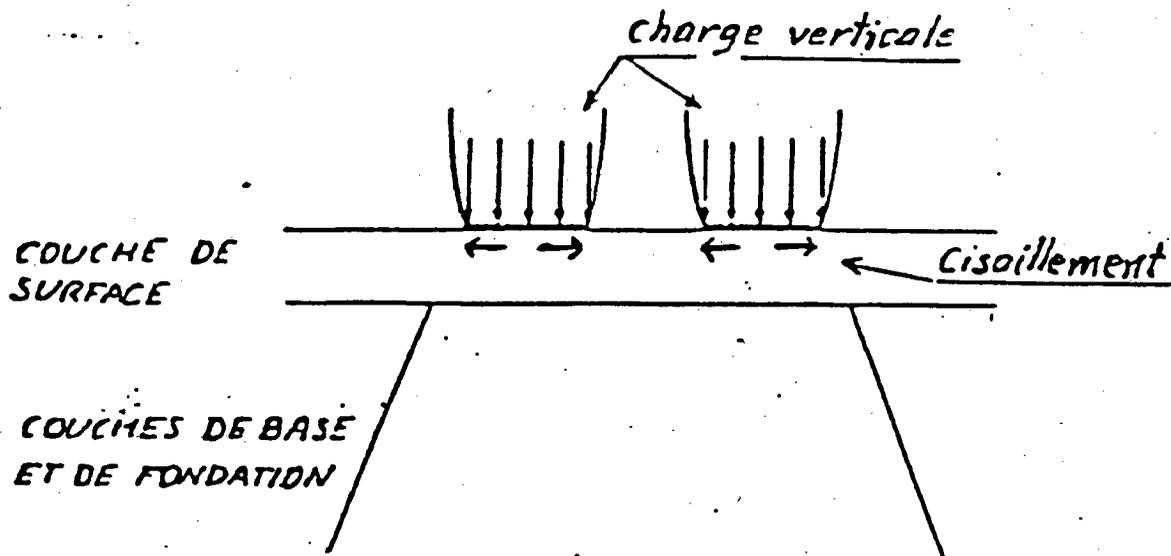
(photographie calquée)



ORIENTATION DU GRAND AXE DES FRAGMENTS

L'unique présence d'éléments plats accentuera cette orientation préférentielle (de L et G) laquelle diminuera la résistance à la déformation d'un mélange bitumineux (fig. 3.3).

Figure 3.3



D'autres raisons justifient une limite de la proportion d'éléments plats:

- Ils couvrent une plus grande surface et entraînent un excès de liant (ressuage).
- Ils entraînent dans certains cas, une diminution de la résistance mécanique des granulats.
- Ils requièrent pour une même maniabilité plus d'eau que les particules de granulats ronds et cubiques.

- Plusieurs types de ces éléments vont se casser lors du compactage et l'enrobage ne sera que partiel.

Li et Kett, qui ont étudié l'effet de la forme des granulats sur la résistance des mélanges bitumineux sont arrivés aux conclusions suivantes:

- 1- La forme n'a pas nuit à la stabilité des mélanges tant que les rapports longueur/largeur (L/G) ou largeur/épaisseur (G/E) demeureraient inférieurs à 3.
- 2- On pouvait utiliser 30 % et possiblement 40 % de particules plates et allongées dans le gros granulat sans modifier significativement la stabilité ou la résistance du mélange bitumineux.

La méthode que nous utilisons limite à 1,8 le rapport L/G et à 1,66 le rapport G/E, ce qui est beaucoup inférieur à 3. Nous spécifions 25 % de particules plates; ce qui cadre dans les valeurs précises par les deux auteurs. Pour les granulats à haute performance, un maximum de 40 % de particules allongées est aussi requis. Ce pourcentage qui semble un peu élevé s'applique à un rapport de 1,66 plutôt qu'à 3.

Tourenq (France) est d'avis que seul le pourcentage d'éléments plats doit être pris en compte pour des couches de roulement. Ce paramètre a, selon lui, une influence assez limitée tant que la proportion d'éléments plats ne dépasse pas 30 %. Cette valeur est donc à considérer dans les spécifications.

Le tableau suivant montre l'emploi et les limites d'opération de différents types de concasseurs, en autant que la production de particules cubiques est concernée.

Tableau 3.4

	Types de concasseurs							
	Machoire	Giratoire	Conique	Impacteur	Cylindre simple	Cylindre double	Broyeurs autogènes à barres	
Production de particules cubiques	Pauvre	Bonne	Bonne	Excellente	Passable	Pauvre	Bonne	Bonne

Le produit du concasseur à marteaux est cubique et le taux de réduction est élevé. Plus de quatre-vingt-dix pour cent (90 %) des carriers québécois sont dotés de ces appareils à percussion. Cette constatation conjuguée avec la possibilité de contrôler, par des grilles à fentes, la forme des produits et d'éliminer (ou de recycler) les éléments plats confirment le réalisme de nos spécifications.

3.2 Angularité

3.2.1 Angularité des granulats fins et grossiers

L'angularité concerne les faces qui limitent les particules. Ces faces font, entre elles, des angles plus ou moins aigus. L'arête peut être plus ou moins vive ou émoussée (figure 3.5)

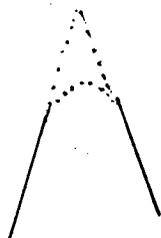
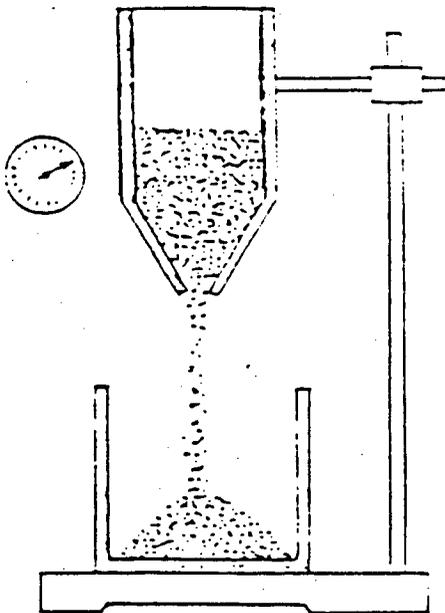


Figure 3.5

Pour les couches de roulement, l'angularité est favorable à l'adhérence du pneu, à la rupture du film d'eau et au drainage lors du freinage. Pour les fondations de routes, l'angularité favorise la stabilité mécanique en augmentant l'angle de frottement interne. Les problèmes de maniabilité et de compaction sont liés à l'angularité. On sait d'autre part que le déplacement relatif des grains et leur mise en place sont facilités lorsqu'ils sont arrondis. Monsieur Reznak de Hongrie a mis au point une mesure globale de l'angularité des sables en mesurant le temps d'écoulement, par gravité, d'une quantité connue de matériau à travers un orifice calibré.

La mesure intègre deux propriétés différentes: l'angularité et l'état de surface. Des études en laboratoire de Rouen ont permis de publier deux normes françaises*, utilisant ce principe, applicables aux sables et aux gros granulats. Pour ces derniers il est nécessaire de vibrer l'ensemble du dispositif pour assurer l'écoulement des granulats (fig. 3.6b).

Figure 3.6 a



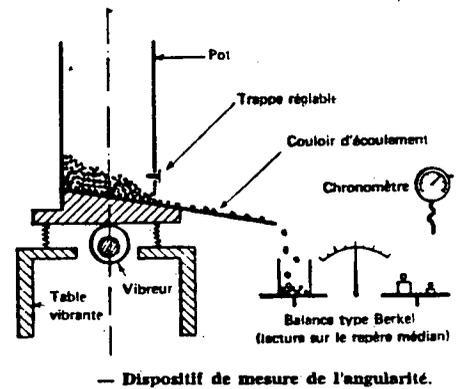
NF.P 18564 - Détermination du coefficient d'écoulement des sables.

Dispositif de mesure de l'angularité

Sable

Gravillons

Figure 3.6 b



NF.P 18563 - Détermination du coefficient d'écoulement des gravillons.

L'angularité confère aux matériaux et produits des avantages et inconvénients qu'il convient de souligner.

Béton de ciment : De façon générale, l'angularité du granulat exerce une influence sur plusieurs propriétés du béton. La PCA souligne que les granulats angulaires (et rugueux) nécessitent plus d'eau de mélange par unité de volume de béton produit que des granulats ronds (et lisse). Par contre, on observe que les liens entre la pâte du ciment et le granulat sont plus faibles dans le cas de granulats de faibles angularité et rugosité.

L'AGI observe que cette demande accrue d'eau, de l'eau de mélange dans le cas d'un granulat à angularité plus élevée entraîne soit une diminution de résistance du béton ou une diminution de son ouvrabilité selon que l'on ajoute ou non de l'eau. - L'angularité est défavorable à une bonne maniabilité et une finition (lissage) des surfaces. - Une attention devra donc être portée aux alluvions concassés, tamisés et lavés.

Béton bitumineux : Les grains ronds ont en général une moins bonne adhésivité aux liants mais par contre assurent une meilleure compacité et maniabilité à la mise en oeuvre. Les grains anguleux sont favorables à l'augmentation de l'angle de frottement interne, à la stabilité des mélanges et à une meilleure adhérence du pneu lors du freinage sur la surface de chaussées mouillées. - L'angularité des grains est favorable ainsi à une résistance à l'orniérage.

Fondations : Une bonne stabilité exige du granulat une angularité élevée laquelle permet une meilleure imbrication des éléments. La densification par compactage d'un granulat augmente la rigidité d'un matériau, mais la manière dont se produit le coïncement a aussi une influence considérable, d'où l'intérêt de matériaux dans lesquels les faces sont rugueuses et les arêtes aigues.

3.2.2 Angularité et fragmentation

A des fins de revêtements, les particules rondes engendrent généralement des revêtements glissants alors que les particules cubiques

offrent des arêtes vives propices à une bonne résistance au dérapage. A la surface des chaussées mouillées, les arêtes assurent, lors du freinage, une rupture du film d'eau et un drainage, permettant ainsi une meilleure adhérence.

L'action du concassage se manifeste par la présence de faces exposées, d'arêtes vives et de diminution de rondeur due aux bris provoqués par le concassage.

Une surface rugueuse d'un élément concassé oppose au glissement une résistance quatre (4) fois supérieure à une surface lisse d'un caillou roulé (Professeur H. Lucke, université de Hanovre).

Le caractère d'angularité ne s'adresse qu'aux matériaux alluvionnaires qui ont des formes arrondies. Son appréciation se fait surtout par le pourcentage de particules ayant des faces fracturées. Pour ce faire, la connaissance de la granulométrie totale du banc s'impose.

La partie grossière de gravier doit être connue au départ. Ainsi de forts pourcentages de refus à 40 mm sont nécessaires pour la fabrication de matériaux 0-14 mm ou 0-28 mm dont on veut un pourcentage élevé en éléments présentant plusieurs faces fragmentées par concassage. Par contre, une proportion élevée de particules de gros- seur voisinant la dimension maximale désirée est un obstacle sérieux à l'obtention de plusieurs faces de rupture. Il semble toutefois que la rugosité de surface arrondie des grains peut compenser une fragmentation moindre.

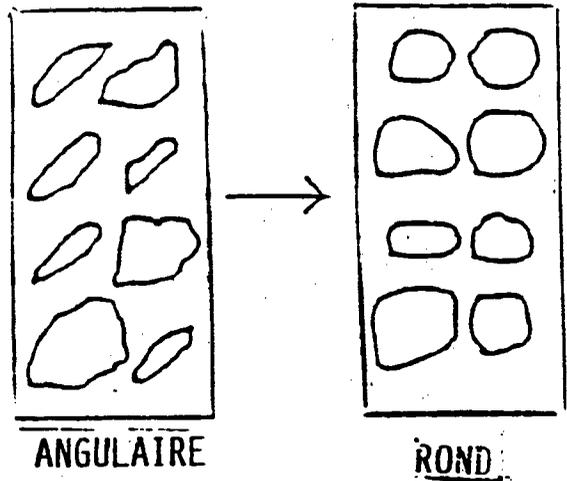
Le ministère des Transports exige pour le gros granulat un minimum de 80 % en masse, de particules fragmentées par concassage. Cette spécification tient compte que les faces rondes ne sont pas nécessairement lisses. Si les galets sont de nature éruptive et grenue

Figure 4.1

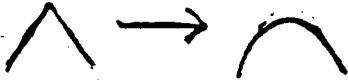
USURE DES ARÊTES
SOUS L'INFLUENCE
DU TRAFIC

Perte de macrorugosité
avant et après usure

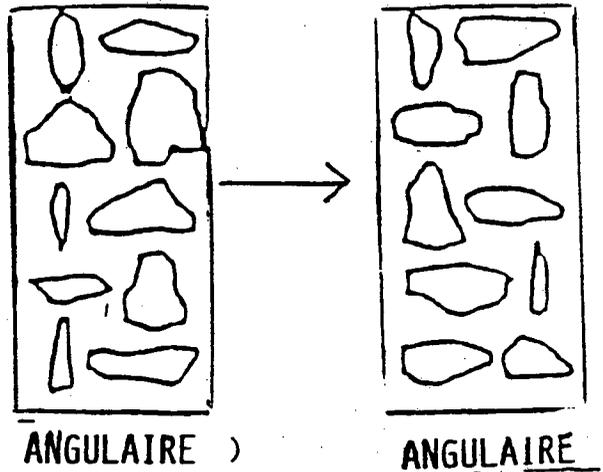
Granulat "A"



Les granulats exposés à l'action direct des pneus à la surface des chaussées, subissent une usure qui tend à supprimer l'angularité.



Granulat "B"



(granite par exemple) c'est-à-dire constitués par l'association de matériaux de dureté différente (quartz, feldspath, micas), les faces arrondies resteront tugeuses. Cette spécification tient compte aussi des facteurs contrôlant l'ingénierie d'un atelier de concassage: le type de roche, le rendement et le fonctionnement des concasseurs, le coût de transport, quantité requise pour le contrat.

4. SOLLICITATIONS MÉCANIQUES

Sous l'action de sollicitations mécaniques, il y a pour un granulat trois (3) types de dégradations possibles:

- la fragmentation sous des chocs répétés : pneus à crampons, compaction dynamique de fondations;
- une usure par attrition en présence d'eau : durant la construction de route, dégradation des matériaux de fondations sous l'action mécanique de l'équipement de chantier et des véhicules; - perte de la macrorugosité sous l'action intense du trafic (figure 4.1);
- le polissage sous l'action intense des pneus. Ce frottement avec des éléments fins peut nécessiter des travaux de rainurage.

4.1 Fragmentation

Les granulats situés à la surface de la chaussée sont soumis à des chocs importants. La roue d'un camion qui circule à 72 km/h est en contact avec un granulat de 10 mm pendant 1/1200 de seconde. Pendant ce court espace de temps, le granulat est soumis à une sollicitation complexe comportant des contraintes (compression et cisaillement) qui croissent puis s'annulent rapidement. Sous ces chocs répétés, le granulat peut se fragmenter. Cette fragmentation est particulièrement importante dans le cas des pneus équipés

de crampons métalliques; elle se produit d'autant plus facilement que le granulat est moins enchassé dans le liant, plus protubérant à la surface de la chaussée. Ces considérations expliquent la rigueur particulière des spécifications relatives au Los Angeles pour des revêtements très circulés.

L'impact créé par le passage des pneus des véhicules lourds peut, tel que mentionné, provoquer le fractionnement des éléments les plus gros du granulat. Cette fragmentation, qui est accélérée par le passage des pneus à clous, est le résultat d'une contrainte qui dépasse la limite de déformation du granulat (figure 4.2).

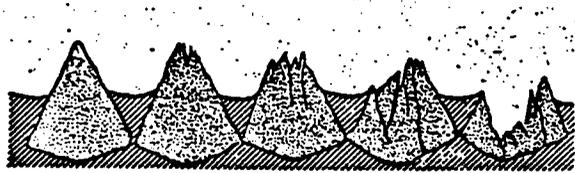


Fig. 4.2 - Evolution des granulats par fragmentation.

Dans le but de réduire l'ampleur des dommages précités, l'essai Los Angeles est utilisé. Cet essai simule, de façon accélérée, l'évolution d'une granularité sous l'effet de chocs à l'aide de boulets d'acier.

Dans les zones d'accélération et de freinage, les carrefours, les routes de trafic lourd et intense, il y a sollicitations sévères de fragmentation par chocs. Des spécifications doivent être imposées pour réduire ce type de dégradations. L'essai Los Angeles nous permet, selon la nature du granulat, d'éliminer des granulats fragiles, tendres et préciser des granulats à haute performance.

4.2 Usure de la macrorugosité en présence d'eau

La macrorugosité dépend de plusieurs facteurs:

- a) la granularité des granulats : plus elle est grossière plus la macrorugosité est forte;
- b) la forme des granulats : présence d'éléments plats est défavorable à la macrorugosité;
- c) l'angularité : la présence d'arêtes vives est très favorable à la macrorugosité.

Ce type d'usure est observée à la surface des revêtements et des fondations.

4.2.1 Revêtements

La macrorugosité représente le relief que donnent les granulats faisant saillie à la surface de revêtement (échelle millimétrique). Elle est aussi liée à la forme, l'angularité et la dimension des granulats.

Ce macro-relief, combiné avec l'effet des rayures des pneus, assure l'évacuation de l'eau entre les granulats de surface (au-dessus de la matrice) et évite le risque de l'aquaplanage. Il permet de garder le contact avec une chaussée mouillée grâce aux aspérités de celui-ci.

L'essai le mieux adapté pour informer de la diminution de l'angularité des granulats (émoussages des arêtes) et de l'arrachement de très petites particules à la surface des granulats est l'essai micro-Deval en présence d'eau.

Pour cet essai, le granulat est immergé dans l'eau durant 24 heures. L'eau pénètre par le jeu des minéraux hydrophiles situés dans les plans de discontinuités, lesquels constituent des zones de faiblesse. Celle-ci, combinées avec des matériaux tendres et altérables, affaiblissent la résistance à l'attrition. En technique routière, l'eau

joue un rôle très important dans les phénomènes d'usure pour plusieurs minéraux aussi l'évolution peut être très grande en présence d'eau. Puisque sur les surfaces de revêtements l'eau est très souvent présente, le processus d'usure par frottement en présence d'eau sous l'action de poussières doit être pris en considération. L'essai micro-Deval permet de trouver des granulats dont l'usure est réduite au minimum.

4.2.2 Fondations

Les matériaux placés dans les fondations subissent au passage de l'équipement lourd (lors de la construction) des contraintes importantes et souvent des déplacements relatifs. Il y a des effets de coïncement de fragments qui se traduisent par un certain nombre de contacts où se manifestent des efforts qui peuvent conduire à l'écrasement des arêtes (attrition). Ainsi sous l'influence de la circulation de véhicules lourds durant la construction et en présence d'eau, il y a pour certains granulats, création de fines.

Parmi les matériaux dégradables, on peut ranger:

- les calcaires tendres, les calcaires schisteux Ils sont souvent caractérisés par une hétérogénéité des fragments individuels, microfissures, fossiles, grains de différentes grosseurs, microlits de shales, porosites. L'explication généralement admise de la dégradation est la dureté insuffisante du granulat de calcaire particulièrement en présence d'eau qui fait que le matériau ne résiste pas au frottement dû au trafic;
- les schistes : dans les Appalaches, le gros granulat de gravier est constitué de schistes à séricité dur et mou, de pelites et

de grès de différentes duretés. Les schistes sont dégradables parce qu'ils contiennent des minéraux feuilletés doux, onctueux. En présence d'eau, ils constituent un lubrifiant facilitant, lors de la compaction, un déplacement et un tassement des grains. L'aptitude des minéraux micacés à récupérer de l'eau s'accompagne de gonflements importants et de pertes de la résistance mécanique. Sous l'action conjuguée de l'eau du trafic, et des intempéries, des fondations se sont rapidement dégradées en fabriquant des fines et conséquemment devenues plus imperméables gélives et de portance réduite.

L'essai Deval semble répondre assez bien au problème de fines par frottement. La caractéristique dominante de cet essai demeure le frottement réciproque des fragments qui produit des particules inférieures à 0,1 mm.

4.3 Résistance au polissage

En plus de la macrorugosité décrite précédemment, la géométrie superficielle est caractérisée par la microrugosité. Celle-ci est liée à la texture et la composition minéralogique du granulat et assure le frottement pneu-chaussée. Elle joue surtout un rôle à basse vitesse et intervient surtout lorsque la chaussée est mouillée et dans le cas de véhicules équipés de pneus usés.

Les granulats, exposés à l'action directe et intense des pneus à la surface des revêtements, subissent une usure microscopique qui tend à supprimer toutes leurs aspérités au niveau de l'état de surface.

Cette usure (à l'échelle décimillimétrique) s'effectue en présence d'eau sous l'action abrasive de poussières fines qui polissent les

microrugosités. La nature du granulat a une importance : par exemple certains calcaires résistent mal à cette usure et perdent toute leur rugosité.

Le polissage des granulats procède à une usure générale de la roche à laquelle se superpose, dans le cas de roches polyminérales, une usure différentielle génératrice de microrugosité géométrique. L'intensité de l'usure dépend de la dureté des minéraux présents dans la roche. La résistance dépend surtout de la différence de dureté entre les minéraux qui constituent la roche. Ce processus d'usure a été surtout étudié à l'aide de l'essai britannique de polissage accéléré. Des observations au microscope conjuguées avec les analyses minéralogique, pétrographique et quantitative ont permis de proposer une méthode de calcul de la valeur d'un coefficient de polissage accéléré. Cette valeur théorique basée sur le contraste de dureté et la dureté moyenne permet de confirmer celle obtenue lors de l'essai.

Le choix de granulats les moins sensibles à se polir sous l'action du trafic s'impose. En France un coefficient de polissage accéléré (C.P.A.) supérieur à 0,55 est requis pour des revêtements de zones d'accélération et de freinage, de carrefours et de trafic intense. Un granulat d'un C.P.A. inférieur à 35 ne doit pas être employé en couche de surface.

Pour conserver de bonnes caractéristiques antidérapantes afin de maintenir des conditions de sécurité satisfaisante, une préoccupation majeure est de veiller à conserver à la surface de la chaussée une microtexture la plus rugueuse et la plus durable possible.

5. SENSIBILITÉ AUX AGENTS ATMOSPHÉRIQUES

5.1 Sensibilité au gel

La résistance au gel d'un matériau est son aptitude à résister, sans qu'il y ait de détérioration complète ou même partielle, aux variations climatiques qui se produisent dans les conditions précises d'utilisation de ce matériau.

Une étude expérimentale conduite en France a montré que l'action du gel sur les roches dépend de deux facteurs essentiels:

- la structure du milieu poreux (porosité) et la présence de fissures.
- la teneur en eau dans la roche (degré de saturation) au moment où se produit le gel.

Cette étude indique des lois très partielles:

- 1) Si la porosité de la roche est inférieure à 2 %, la déformation provoquée par la transformation eau-glace est absorbée par élasticité, ces roches ne sont pas gélives. Par contre, les roches à forte porosité ($n > 10\%$) présentant une texture grenue sont très gélives lorsqu'elles sont saturées d'eau.
- 2) Si la dimension des pores est très faible ($< 0,1\ \mu\text{m}$), la température de congélation de l'eau étant fortement abaissée ($-20\ ^\circ\text{C}$), ces roches ne sont pas gélives.

3) Si l'indice de saturation (IS) qui représente le pourcentage des pores occupés par de l'eau est inférieur à une certaine valeur, la glace peut se dilater librement, les limites de IS varient en fonction de la porosité comme le montre la figure suivante.

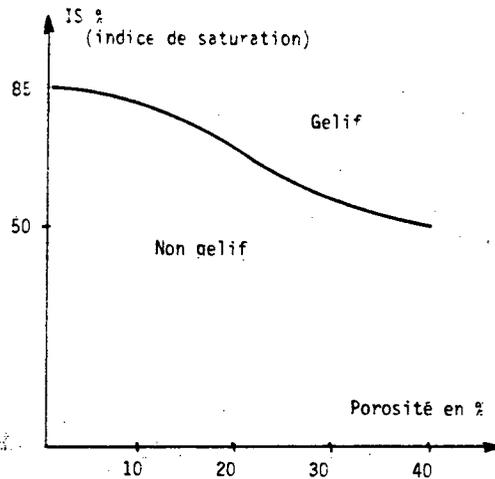


Fig. 101 - Les roches très poreuses sont gélives pour des valeurs de IS inférieures à 85 %

Tant que la dilatation de la glace n'entraîne pas une déformation de la roche dépassant sa limite plastique, celle-ci ne se rompt pas.

La porosité, la dimension des pores et le degré de saturation sont les facteurs les plus importants de la sensibilité au gel des granulats.

5.1.1 Parmi les quelques essais existants, l'essai français (NF P18-593)

fournit une évaluation quantitative du comportement des granulats à l'action gel-dégel sous charge dynamique. Il a pour but de renseigner la dégradation (microfissuration et fragmentation) résultante de l'action répétée du gel sur les granulats saturés d'eau.

L'essai consiste à mesurer deux coefficients Los Angeles, l'un sur le matériau intact, l'autre sur le matériau ayant subi, après avoir saturé, 25 cycles de gel et dégel. Il est relativement long (environ 30 jours) et s'applique à des granulats issus de roches poreuses, telles que les calcaires ou les grès.

Cet essai a des points communs avec la réalité, parce qu'il prend en considération la saturation en eau et les variations de température (-25 °C à + 25 °C).

5.1.2 L'essai de durabilité aux sulfates, ASTM-C88 est un autre qui fournit de l'information utile pour juger de la durabilité des granulats soumis à l'action de l'intempérie. Il est évident qu'il ne reproduit pas les mécanismes de la dégradation causée par le gel, mais établit une échelle de valeur de résistance aux sollicitations suivantes:

- variations de température;
- cycle de mouillage et de séchage combinés avec l'expansion cristalline du $MgSO_4$ ou Na_2SO_4 .

Cet essai a l'avantage de fournir, dans les granulats, une échelle étendue de valeurs indiquant ainsi des comportements extrêmes. Il détecte bien des quantités moyennes à élevées de schistes argileux, lesquels sont avides d'eau.

Des travaux de recherche ont montré par contre que l'essai au $MgSO_4$ montrait une meilleure corrélation avec l'absorption que l'essai français décrit en 5.1.1

5.2 Altérabilité

En génie civil, l'altérabilité d'un matériau peut être définie comme sa tendance à subir, à l'échelle de la durée de vie normale des ouvrages, des modifications techniquement dangereuses de ses propriétés mécaniques et physiques, sous l'influence de ses composants (R. Struillou).

5.2.1 Mécanique des dégradations de granulats soumis à des coups de flamme dans les tambours sécheurs.

Dans les tambours-sécheurs utilisés, par exemple dans les postes d'enrobage à chaud, les granulats sont souvent pratiquement saturés d'eau à l'entrée. Ils se trouvent brusquement placés dans une enceinte où la température est voisine de 180 °C. De plus à chaque instant, la couche supérieure de granulats est soumise à l'action directe de la partie latérale de la flamme du sécheur, dont la température peut probablement atteindre 900 °C à 1200 °C.

Il peut alors se produire un phénomène qui tend à affaiblir les granulats et même à provoquer leur éclatement. Ce phénomène se caractérise de la façon suivante: l'eau des granulats se vaporise plus vite qu'elle ne se dégage, amenant ainsi, à l'intérieur des granulats, une augmentation de pression parfois suffisante pour les fissurer et même les faire éclater. En plus de ce phénomène, la chute des granulats dans le tambour contribue à une dégradation additionnelle.

5.2.2 "Soupe" des enrobés à chaud

Lorsque la porosité des granulats est forte et due à la présence de pores très fins ou riches en produits adsorbants, le temps de présence des granulats dans les tambours-sécheurs (et les tremis à chaud), en moyenne 5 minutes, est insuffisant pour permettre l'élimination de toute leur eau interne. Quand on effectue ensuite à chaud (entre 160 °C et 180 °C) le mélange des granulats et du liant hydrocarboné, l'eau interne résiduelle des matériaux solides continue à se vaporiser. la valeur d'eau se dégage dans l'enrobé et a tendance:

- d'une part à émulsionner le liant;
- et d'autre part à se fixer à la surface des granulats;

nuisant ainsi à la bonne adhésion du liant.

L'enrobé devient anormalement fluide et même à la limite donne lieu à une véritable ségrégation du liant et des granulats. On obtient ainsi le phénomène de la << soupe >> avec, d'autre part ses inconvénients de mise en oeuvre sur chantier et d'autre part, ses risques de désenrobage à long terme, du fait de la présence probable de particules d'eau entre les granulats et le liant.

6. PROPRETÉ

La propreté occupe une place importante dans les spécifications sur les granulats. Le manque de propreté d'un granulat est lié à la présence d'éléments qui, même en faible quantité, sont indésirables pour des raisons diverses : chute de résistance, inhibition des réactions de prise des liants, comportement de l'interface liant-granulats

Une très faible quantité peut réaliser un tapissage des surfaces externes qui nuit aux liaisons granulat-liant. Le gros granulat a une faible surface. Ainsi 0,2 % de fines de dimensions comprises entre 1 et 10 μm couvrent totalement un granulat de 10 mm.

Il convient de distinguer la poussière provenant du concassage de roches saines de fines correspondant à des minéraux phylitieux (chlorites, argiles ...).

6.1 Fines argileuses

Il y a des fines argileuses hydrophiles dérivées du concassage de schiste. Elles adhèrent très fortement aux granulats et confèrent une très mauvaise adhésivité aux liants bitumineux. Le comportement de l'interface liant-granulat est conséquemment réduit. Pour mettre à profit l'introduction du bitume dans les pores, les vides, les discontinuités, les micro et macro reliefs du granulat, il faut enlever cette barrière de poussière qui a un rôle nocif. Si on recherche une amélioration de l'adhérence de matériaux souillés par des fines terreuses, argileuses ... le lavage (et non le dépoussiérage) peut nous débarrasser de cette "saleté" engendrée surtout

par les alternances de sécheresse, d'humidité, de chaleur, de froid et de gel. Aussi le concassage par temps humide, qui est la cause d'impuretés colloïdales (argileuses et humides) justifie cette recommandation de lavage. Il ne faut pas se fier à la pluie qui ne fait que créer des concentrations de fines dispersées ici et là dans une réserve.

6.2 Poussière de roches saines

Un granulat sain concassé par temps humide peut se trouver légèrement enrobé d'un film de farine minérale qui peut être parfaitement saine à ce moment mais se concrétiser à la surface et rendre par la suite l'enrobage et l'adhérence très imparfait.

6.3 Conclusion

Des particules sont indésirables soit à cause de leur finesse, ou à cause de leur comportement volumétrique en présence d'eau. La nocivité des particules fines est reliée à leur quantité et à leur activité. Cette dernière dépend de la proportion et de l'espèce des particules d'argiles.

L'appréciation de la propreté dépend de différents essais : équivalent de sable, bleu de méthylène, sédimentation, indice de plasticité.

L'étude statigraphique des carrières est à considérer pour savoir si les masses rocheuses exploitées présentent des zones altérées ou de fractures remplies de produits argileux, ferrugineux ou schisteux

A N N E X E A

MESURE DE LA PROPRIÉTÉ ABRASIVE D'UNE PIERRE SOUMISE AU CONCASSAGE

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
Laboratoire Central
Guy Dallaire, ing.

L'essai Burbank permet d'établir une mesure relative de l'usure d'une pierre (ou d'un mélange de pierre) lors du concassage.

L'essai est un outil qui, combiné avec d'autres informations (nature de la pierre, % de silice ...) peut informer un (nouveau) carrier sur les choix et l'usure possible d'un acier pour concasser les différents types de pierre de son dépôt.

Avec les données indiquées ci-après, il est possible d'évaluer et de comparer le comportement d'une nouvelle pierre par rapport à une source de matériaux dont on connaît la performance.

DESCRIPTION: L'appareillage comporte un cylindre dans lequel plonge un axe entraîné par rotation. L'extrémité de cet axe reçoit une palette parallépipède en acier (chrome, nickel, molybdène, 500 Brinell), dont le plan de rotation est vertical et perpendiculaire à la paroi du cylindre. La palette préalablement pesée étant fixée, une masse déterminée de roche concassée et tamisée à une granulométrie standard est déversée dans le contenant. Une rotation assure les chocs pour provoquer une usure de la palette et une rupture des granulats. L'abrasivité est déterminée, après un temps limité, par une perte de poids (mg) de la plaquette.

0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78
Calcaire Schiste argileux Dolomie (3% de silice)	Dolomie siliceuse (19 à 41% de silice)	Calcaire siliceux Péridotite (38 à 53% de silice)		Grès et pélite (64% de silice)	Schiste à séricite et Quartz (47 à 63% de silice)	Scorie grès et schiste dur (64% de silice)	Andésite (45% de silice)						
84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	156	160
Granite Diorite gneiss (55% de silice)	Roche verte schiste à quartz et séricite (48 à 58% de silice)	Grès (75% de silice)	Diabase trachyte grès	Grès et pélite (65% de silice)		Grès (72% de silice)		Brèches volcaniques andésite (35 à 42% de silice)	Syénite à néphéline (50% de silice)				Grès (80% de silice)

DATE : Ste-Foy, le 13 juillet 1979.

A : M. Raymond-Marie Aubin, ing. - Expertises & Normes

DE : Guy Dallaire, ing. - Laboratoire Central

SUJET : Mesure de la propriété abrasive d'une pierre soumise
au concassage.

Le Laboratoire Central a approfondi la méthode d'essai Burbank qui permet d'établir une mesure relative de l'usure par abrasion d'une pierre (ou d'un mélange de pierre) lors du concassage.

Les résultats des travaux de l'équipe dirigée par Gérard Moreau démontrent que cet essai est un outil qui combiné avec d'autres informations (nature de la pierre, % de silice.....), peut informer un nouveau carrier sur les choix et l'usure possible d'un acier pour concasser les différents types de pierre dans son dépôt. L'essai est par définition un moyen de comparer dans des conditions identiques, une pierre ou une ensemble de pierre par rapport à une autre pierre ou une autre ensemble de pierre. Avec les données du tableau ci-joint il est possible d'évaluer et de comparer le comportement d'une nouvelle pierre par rapport à une source de matériaux dont on connaît la performance.

Nous insistons sur les besoins d'accumulations d'informations pour qu'après une période de rodage, on puisse mieux informer un entrepreneur et réduire ainsi le nombre et le coût des réclamations.

D'autre part l'essai est assez coûteux et n'est pas conçue comme un essai routinier pour le faire tous les jours et sur tous les échantillons. La demande d'effectuer cet essai devra être faite avec discernement.

Guy Dallaire

GD/cr

C.C.: MM. Jean Vézina, ing.
J.R. LaHaye, ing.

Provenance	Plaque #	Perte Burbank mg.	Perte Moyenne mg.	% Silice	Passant #200 %	Nature de la pierre
Carrière Dufferin Aylmer - Hull	1-T	0.2	0.1	2.60	6.3	Calcaire
	2-T	0.1		3.90	6.8	
	3-T	0.1		3.25	7.7	
Carrière Deschenes Aylmer - Hull	1-F	0.4	0.2	3.0	15.3	Calcaire
	2-F	0.1		5.20	7.5	
	3-F	0.1		2.40	15.4	
Carrière Construction St-Paul Ste-Pie	1-V	0.4	0.2	13.2	2.6	Calcaire & Schiste
	2-V	0.2		11.6	4.2	
	3-V	0.1		12.5	3.1	
Carrière Simard & Beaudry (mauvais)	2-R	0.5	0.3	30.0	2.7	Calcaire Dolomie Schiste dur et argileux
	3-R	0.3		37.2	6.3	
	4-R	0.2		33.5	5.5	
Carrière Richelieu St-Hugues	1-0	1.4	0.9	22.0	5.0	Calcaire granu- lique dur et Schisteux cris- tallin.
	2-0	0.6		23.8	4.2	
	3-0	0.8		22.0	4.0	
Carrière St-Armand St-Armand	1-D	0.5	1.2	2.00	10.6	Calcaire
	2-D	0.1		2.00	6.6	
	3-D	2.9		4.01	7.3	
Carrière Les Calçites- du Nord Mistassini	1-E	0.2	1.3	6.00	5.4	Calcite
	2-E	3.6		2.00	5.5	
	3-E	0.1		2.50	5.7	
Carrière St-Paul Construction Ste-Pie	1.1.B	6.8	3.4	29.5	4.6	Calcaire et Schiste
	1.2.B	11.0		24.9	4.5	
	1.3.B	7.5		22.0	4.0	

Provenance	Plquette #	Perte Burbank mg.	Perte Moyenne mg.	% Silice	Passant #200 %	Nature de la pierre
Sintra St-Charles Rang 2	1-Q	11.3	9.4	41.6	2.8	Andésite
	2-Q	9.9		40.6	2.3	
	3-Q	7.1		41.5	3.5	
Carr. Laurentienne ..	1-N	7.4	9.6	17.0	4.7	Dolomie
	2-N	12.8		16.3	4.9	
	3-N	8.8		15.8	4.8	
Carr. Mont-St-Bruno No 1	1-H	11.9	12.5	53.2	3.3	Pélite
	2-H	7.9		53.8	3.3	
	3-H	17.8		55.6	4.4	
Lake Asbestos	1-L	16.9	12.8	36.3	7.1	Serpentine Péridolite
	2-L	8.0		39.8	4.4	
	3-L	13.5		38.7	4.3	
Carr. St-Haurice ^a	1.1.A	9.4	13.4	50.0	5.0	Calcaire
	1.2.A	14.8		50.0	3.7	
	1.3.A	16.1		48.0	3.1	
Sintra St-Cyrille Rang 4	1-K	23.6	24.6	40.3	8.2	Andésite
	2-K	22.4		39.2	4.4	
	3-K	27.7		40.5	5.5	
Carr. Patenaude Réserve No 2 (1977)	1-M	26.7	28.1	65.0	4.1	Pélite et grès
	2-M	32.2		63.6	2.8	
	3-M	25.4		65.3	5.2	
Carr. Sintra Sherbrooke	1-C	15.0	34.9	47.5	6.2	Andésite
	2-C	74.6		63.7	6.8	
	3-C	15.7		49.5	6.0	

		mg.	mg		%	
Carrière Simard & Beaudry	1-R	34.9	34.9	28.4	7.4	Calcaire, Dolom Schiste.
	Laval					
Carrière ERCO	1.1.C	40.4	38.5	42.5	6.5	Scories
	1.2.C	35.9		43.8	3.1	
	Varennes	1.3.C		39.3	43.4	
Carrière Whissel Inc.	1-G	42.4	40.3	66.2	21.7	Grès Schiste dur, argileux
	2-G	38.3		63.8	21.5	
	3-G	40.3		66.1	20.2	
Sinfra	1-P	42.2	40.5	49.8	5.1	Grès et Schiste
	2-P	39.4		51.3	5.8	
	St-Valère	3-P		40.0	49.5	
Carrière St-Flavien	1-Z	38.7	43.9	45.6	4.4	Andésite
	2-Z	49.2		46.0	4.5	
	St-Flavien					
Carrière Continental	1-1	92.8	89.5	58.0	9.6	Diorite
	2-1	88.9		54.7	4.7	
	3-1	86.7		55.0	8.6	
Carrière Desourdy	1-B	146.2	93.6	58.1	20.2	Schiste Quartz Feldspathique
	2-B	133.3		48.2	12.7	
	Shertbrooke	3-B		79.2	58.0	
	4-B	69.1		72.4	6.6	
	5-B	40.4		49.8	7.2	

Provenance	Ploquette #	Perte Burbank mg.	Parte Moyenne mg.	% Silice	Passant #200 %	Nature de la pierre
Carrière Savage Casale	1-Y	87.5	97.8	73.2	5.7	Grès
	2-Y	102.4		76.8	2.0	
	3-Y	103.5		75.5	4.7	
Carrière Demix	1-W	97.8	102.8		2.4	Thraçhyte 04 Phonolite
	2-W	108.2			2.3	
	3-W	102.3			2.9	
Carrière Sintra	1.1.E	96.1	104.8			Grès dur Schiste à cl. r. r.
	1.2.E	83.5				
	1.3.E	134.9				
Granby						
	1-S	99.3	110.5	65.6	4.7	Pélite Grès
	2-S	116.8		68.1	7.4	
(1977) 3-S	115.3	69.2		9.8		
Carrière Ste-Félicité	1.1.D	136.9	124.8	73.6	5.8	Grès
	1.2.D	142.8		74.1	5.9	
	Ste-Félicité 1.3.D	94.8		71.4	3.3	
Carrière Sintra	1-U	130.0	132.2	42.6	4.9	Andésite Brèches volcani- ques
	2-U	132.5		35.6	3.5	
	St-Wenceslas 3-U	134.0		44.4	4.0	
Carrière Demix	1-J	113.3	142.5	50.2	4.1	Syénite Néphéline
	2-J	122.3		51.6	3.8	
	Mont St-Hilaire 3-J	192.0			5.5	
Béton Provincial	1-X	152.3	155.1	83.0	4.7	Grès
	2-X	155.1		78.2	4.1	
	Rimouski 3-X	157.8		79.4	4.3	

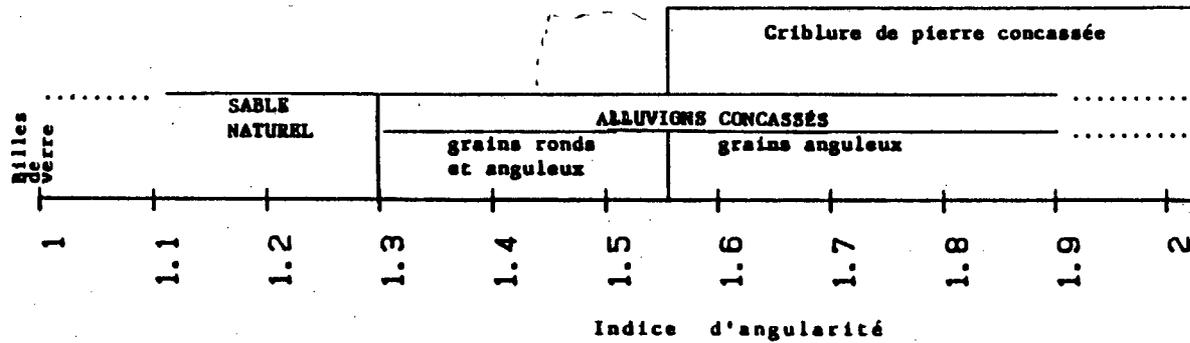
ANNEXES B, C, D, E, F, G

TABLEAU I

INDICE D'ANGULARITE DE GRANULATS FINS
FRACTION 2 mm/80 µm

Province de Québec

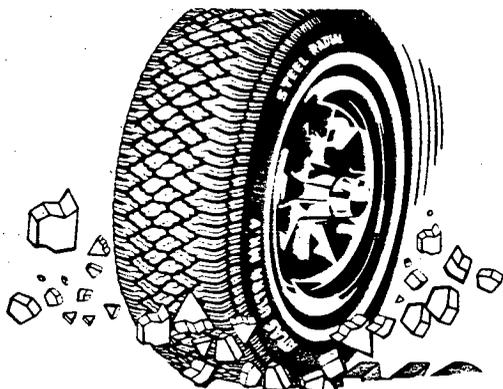
$$IA = \frac{\text{Temps d'écoulement de 1000 g du granulat fin}}{\text{Temps d'écoulement de 1000 g de billes de verre de même granularité}} \times \frac{db \text{ (densité de la prise d'essai)}}{2,68}$$



ANNEXE C

		A		B		C	
		AS2797-82 Gravier GW		AS884-82 Gravier GP		AS487-82 Gravier GP	
Tamis		Séparé	Combiné	Séparé	Combiné	Séparé	Combiné
63	mm	100	100	100	100		
56	mm	91	92	85	92	100	100
40	mm	83	86	74	85	97	98
28	mm	56	63	44	68	78	83
20	mm	42	51	33	62	54	63
14	mm	21	33	20	54	24	40
10	mm	12	25	12	49	13	30
5	mm	100	15	100	43	100	20
2,5	mm	73	11	92	39	80	16
1,25	mm	52	8	79	34	67	13
630	µm	37	6	64	27	55	11
315	µm	33	5	39	17	40	8
160	µm	31	5	20	8	27	5
80	µm	29,5	4,5	10,3	4,4	19,2	3,9

Guy Dallaire, ing.
Laboratoire central
Ministère des Transports



Les considérations suivantes expliquent la rigueur particulière des spécifications relatives au coefficient Los Angeles pour des routes à fort trafic.

- Les granulats situés à la surface de la chaussée sont soumis à des chocs importants. La roue d'un véhicule qui circule à 72 km/h (45 milles/heure) est en contact avec un granulats de 10 mm pendant 1/1200 de seconde. Pendant ce court laps de temps, le granulats est soumis à une sollicitation complexe comportant des contraintes de compression et de cisaillement qui croissent puis s'annulent rapidement. Sous ces chocs répétés, le granulats peut se fragmenter. Cette fragmentation est particulièrement importante dans le cas de neus équipés de crampons métalliques. La résistance de cette fragmentation dépend essentiellement des forces de liaisons intercrystallines.

Généralement, les granulats de texture fine montrant des cristaux de dimension inférieure à 50 μ sont très résistants aux chocs.

EXPRESSION DE LA
DEGRADATION
DE MATERIAUX DE FONDATIONS

AVANT LA COMPACTION			APRES LA COMPACTION		
GRANULOMETRIE			GRANULOMETRIE		
TAMIS	SEPREEE	COMBINEE	SEPREEE	COMBINEE	
				1er cas	2ième cas
80 mm	100	100			
56 mm					
28 mm					
5 mm	100	50	100	50	60
80 µm	14	7	18	9	10,8

COMMENTAIRES:

- . La dégradation par attrition est de $9-7 = 2\%$ (^{er} 2ième cas)
- . La dégradation par fragmentation est de $60-50 = 10\%$ (2^e cas)

FONDATIONS

EAST-ANGUS

CONTRAT 525-0901-7

GRANULOMETRIE

TAMIS	FONDATION INFERIEURE		FONDATION SUPERIEURE		EMPRUNT	
	SEPEREE	COMBINEE	SEPEREE	COMBINEE	SEPEREE	COMBINEE
56 mm		96		100		94
28 mm		78		92		81
20 mm		67		70		75
5 mm	100	36	100	35	100	50
25 mm	83.3	30	82.8	29	86	43
125 mm	66.6	24	71.4	25	70	35
315 um	36.1	13	42.8	15	30.0	15
80 um	<u>23.3</u>	8.4	<u>28.8</u>	9.9	<u>17.4</u>	8.7
5 um	13.3	4.8	14.8	5	8.6	43.
Ind. plast.	7.2		7.3		N.P.	
Limite liquidité	21.8		22.3		21.9	
V.B. 400 um	<u>0.36</u>		<u>0.28</u>		<u>0.13</u>	
Absorption 5 mm non lavé	2.10%		4.3%		-----	
Absorption 5 mm Lavé	1.15%		1.43%		-----	
Perméabilité	9×10^{-8} cm/sec		10^{-7} cm/sec.		7×10^{-7} cm/sec	

- Les fines peuvent être plastiques ou hydrophiles.
- Elles ont la propriété de gonfler, de ramollir à l'humidité et de se contracter en période d'assèchement.
- Les sables à module de finesse très bas sont difficilement essorables -(retention continue en eau)

TABLEAU 3B

**PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES GRANULATS
INFRASTRUCTURES, SOUS-FONDATION ET FONDATIONS**

Au moins 95% des résultats des essais effectués par un ou des laboratoires répondent aux spécifications suivantes:

ESSAIS		CLASSE A et C	FONDATIONS	
			inférieure	supérieure
Nombre pétrographique	max.	400	300	200
Durabilité MgSO ₄	% max.	35	25	20
Los Angeles	% max.	50	50	50
Micro-Deval	% max.	45	36	33
Fragmentation	% min.		50	50
Matières organiques	% max.	0,8	0,8	0,8

TABLEAU 3C

**PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES GROS GRANULATS
POUR BETON DE CIMENT ET BETON BITUMINEUX**

Au moins 95% des résultats des essais effectués par un ou des laboratoires doivent répondre aux spécifications suivantes:

ESSAIS		CLASSES					
		1A	1B	2	3	4	5
Nombre pétrographique 250	max.	120	120	135	150	180	250
Durabilité MgSO ₄	% max.	5	5	12	15	18	25
Los Angeles	% max.	30	50	50	50	50	50
Micro-deval	% max.	11	16	23	26	30	36
Particules plates	% max.	25	25	25	30	30	30
Particules allongées	% max.	40	40	45	50	50	50
Fragmentation	% min.	75	75	60	60	60	60
Particules passant 80 µm	% max.						
Gravier		1	1	1	1	1	1
Pierre concassée		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Couche de surface, traitement au bit.		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Résidu insoluble	% min.	10	10				

Nombre pétrographique: BNQ-2560-900. Durabilité: BNQ-2560-450.

Los Angeles: VNQ-2560-400; le maximum est de 32 au lieu de 50 pour une pierre concassée de carrières de calcaire.

Micro-Deval: BNQ-2560-070; le maximum est de 16 au lieu de 11 si le Los Angeles est inférieur à 19.

Particules plates et allongées: BNQ-2560-265 "Granulats - Détermination du pourcentage de particules plates et de particules allongées"; pour les traitements de surface au bitume, le maximum est de 35, pour les particules plates.

Fragmentation: Le pourcentage indiqué est le pourcentage en masse de particules fragmentées ayant au moins une face fracturée par concassage et retenues sur le tamis 5 mm.

Particules passant 80 µm: BNQ-2560-350 "Granulats - Détermination par lavage de la quantité de particules passant au tamis de 80 µm

Gravier: Béton de ciment et couche de base d'un traitement au bitume.

Pierre concassée: Béton de ciment, béton bitumineux et couche de base d'un traitement au bitume.

Résidu insoluble: Min. Communications et Transports de l'Ontario (LS613).

Normes: Les normes d'essai BNQ-2560-900 et BNQ-2560-450 sont remplacées par la norme BNQ-2560-070, pour les granulats provenant de carrières de calcaire.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 232 085