MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24e ÉTAGE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5H1

ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES MELANGES BITUMINEUX

CANQ
TR
GE
RC
125

470040

Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

LABORATOIRE CENTRAL - MINISTERE DES TRANSPORTS

ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES MELANGES BITUMINEUX

Préparé par: Richard Langlois, ing., M.Sc.
Laboratoire Central
Ministère des Transports
Complexe Scientifique
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
G1P 3W8

SAINTE-FOY, le 26 mai 1980.

RL/fg

REÇU
TRANSPORTS
MAI 29 1980
DIR. EXPERTISES & NORMES

CANQ
TR
GE
RC
125

ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES MELANGES BITUMINEUX

Dans une lettre de Monsieur Lionel Dufour (voir annexe A) adressée le 30 avril 1980 à Monsieur Jean-Réal Lahaye, deux questions étaient posées: "Que pensez-vous de l'idée de reviser les critères utilisés pour le choix d'un mélange bitumineux? Ces critères répondent-ils bien à notre désir de choisir le mélange exigeant le moins de bitume?" Le présent rapport veut répondre à ces deux questions en plus de présenter quelques autres commentaires et suggestions concernant le sujet mentionné en rubrique.

A notre connaissance, la seule publication du ministère des Transports sur les critères pour le choix d'un mélange bitumineux est celle du bulletin d'information "Coup d'Oeil" du Laboratoire Central, dont une copie est présentée en annexe B. Le cahier des normes (tome 1, chapitre 3) ne fait qu'indiquer sur les dessins normalisés des structures de chaussées le type de mélange qui convient, sans donner aucun critère.

Ces critères sont encore tout à fait d'actualité et cadrent très bien avec la politique d'économie d'énergie. Cependant, comme les neuf (9) types de mélange d'alors ont été remplacés par sept (7) types de mélange, il faut en tenir compte en appliquant ces critères de choix. L'adaptation n'est pas très difficile, car les mélanges MB1, MB3, MB4, MB5 correspondent respectivement aux anciens # 1, 4, 5 et 6. Quant au MB2, il est un mélange groupant les anciens # 2 et 3. Le MB 6 est mitoyen entre les anciens # 7 et 8, et le MB7 est mitoyen entre les anciens # 8 et 9.

De plus, les critères d'acceptation des formules de mélange, tels qu'énoncés dans les directives complémentaires sur l'assurance de la qualité en béton bitumineux, publiés par le Service des Centres Régionaux, contribuent également à choisir le mélange qui fait économiser le plus d'énergie. Un extrait de ces directives est donné en annexe C.

Nous tenons à souligner que le mélange exigeant la plus faible teneur en bitume n'est pas nécessairement celui qui fait économiser le plus d'énergie. En effet, un mélange plus fin a une teneur en bitume plus élevée, mais il permet souvent d'économiser plus d'énergie à cause des faits suivants:

1° Il se pose en couche plus mince, donc, par mètre carré de surface, il peut contenir moins de bitume et avoir nécessité moins d'énergie de transport.

2° Il contient plus de sable et moins de pierre. L'énergie consommée par kilogramme de sable naturel n'est que de 17,44 kilojoules, alors qu'elle est de 81,4 kilojoules pour la pierre concassée.

3° Les accotements à relever consomment également plus d'énergie si l'épaisseur à relever est plus grande.

4° La durabilité d'un mélange est plus grande avec une teneur en bitume élevée et nécessite une dépense d'énergie inférieure à cause d'un entretien moindre.

Enfin, nous voudrions mentionner que si le choix du type de mélange peut faire économiser de l'énergie, le type de design structural, les modes de fabrication des mélanges bitumineux et le recyclage du vieux béton bitumineux sont d'autres moyens qui contribuent encore plus à cette économie. Le bulletin "Coup d'Oeil" de mars 1977 discute brièvement de ces autres moyens (voir annexe D). En outre, l'annexe E présente un tableau des méthodes de recyclage.

En conclusion, nous pouvons affirmer que les présents critères de choix du type de mélange sont encore très valables. De plus, il faut éviter de ne se baser que sur l'économie de bitume pour calculer l'économie d'énergie, car plusieurs autres caractéristiques sont parfois plus significatives selon les circonstances particulières des travaux. Il faut donc faire une étude assez complète de chaque projet afin de déterminer le type de mélange qui conserve le plus l'énergie.

Richard Langlois, ing., M.Sc.
Responsable - Division Matériaux

C.C. MM. Lionel Dufour, ing.
Guy Bourgault, ing.
J.-P. Bonneau, ing.
J.-Réal Lahaye, ing.
R.-M. Aubin, ing.
R. Doucet, ing.

SAINTE-FOY, le 26 mai 1980.

RL/fg

ANNEXE A

Lettre de M. Lionel Dufour, ing.

sur l'économie d'énergie

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports

QUEBEC - 1980-04-30

Monsieur Jean-Réal Lahaye
Directeur
Direction de la recherche et du contrôle
Ministère des Transports
875 Grande-Allée est
3e étage
Québec - Qué.
G1R 4Y8

SUJET: Programme d'économie d'énergie

Monsieur,

Le comité permanent d'économie d'énergie en transport (CPEET) se prépare à soumettre aux autorités un programme révisé d'économie d'énergie.

Vous vous souviendrez qu'au colloque tenu l'automne dernier au ministère des Transports sur les économies d'énergie, les participants formulèrent plusieurs recommandations pour économiser de l'énergie dans les transports. Plusieurs de ces suggestions seront introduites dans le programme proposé mais certaines exigent une consultation des personnes concernées avant que le comité puisse formuler une recommandation adéquate.

La mesure pour laquelle nous aimerions obtenir votre avis concerne "Le choix d'un mélange de béton bitumineux contenant le moins possible de lien asphaltique". Les détails de cette suggestion sont donnés dans une note de Monsieur Bourgeault, dont copie est jointe.

Nous savons tous combien les coûts et la disponibilité du bitume ont changé rapidement au cours des dernières années, donnant à la teneur en bitume dans les mélanges bitumineux, une importance qu'elle n'avait pas dans le passé.

.../2

Sachant que votre Direction est des plus concernée par l'établissement des types de mélange et de leurs critères de sélection, nous serions des plus intéressés à obtenir vos commentaires. Par exemple, que pensez-vous de l'idée de réviser les critères utilisés pour le choix d'un mélange bitumineux. Ces critères répondent-ils bien à notre désir de choisir le mélange exigeant le moins de bitume?

Nous aimerions bien que vous répondiez à ces questions mais sommes également intéressés à toutes autres suggestions et commentaires de votre part.

Nous vous remercions à l'avance de votre collaboration et vous prions d'accepter, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Lionel Dufour, ing.
Président du CPEET

cc.: Monsieur G.-Robert Tessier, ing.
Sous-ministre adjoint

GOUVERNEMENT
DU QUÉBEC
MINISTÈRE
DES TRANSPORTS

Québec, le 01 octobre 1979

À : Monsieur Yvan Lavoie, ingénieur
Chef/Service des opérations territoriales est

DE : LA DIRECTION DE LA CONSTRUCTION

OBJET : Notre référence: 1.9.0
Colloque sur l'Energie (1979-10-18)
Étude d'un cas:
Économie de bitume/économie d'énergie,
Choix des mélanges bitumineux

Le cas suivant pourrait être discuté au colloque sur l'Énergie à votre atelier, concernant la construction des infrastructures de transport.

Le ministère des Transports a le choix lors d'ouvrages en béton bitumineux parmi sept types de mélange numérotés de 1 à 7.

Le type de mélange MB 1 est un mélange de base qui a la plus basse teneur en bitume entre 3% à 5.5%, soit 30 kilogrammes à 55 kilogrammes par tonne de mélange.

Le type de mélange MB 7 est le mélange qui a la plus forte teneur en bitume entre 6% et 10%, soit 60 kilogrammes à 100 kilogrammes par tonne de mélange.

Nous voyons là que la teneur en bitume d'un mélange augmente à mesure que nous optons pour un mélange à agrégat de plus en plus fin.

Si nous pouvions baisser la teneur en bitume de nos mélanges bitumineux sans nuire à leur qualité en faisant un choix plus judicieux du type de mélange à poser, le Ministère pourrait trouver là un élément important au point de vue économie d'énergie; le bitume est un dérivé du pétrole brut et son coût s'avère aujourd'hui prohibitif si on le compare avec les prix qui étaient en vigueur il n'y a qu'un an ou deux.

...2

Bien entendu, nous ne pouvons remplacer le mélange MB 5 par le mélange MB 1. Le MB 5 est un mélange de couche de surface et se pose en couches minces alors que le mélange MB 1, mélange de base très grossier, se pose en couches épaisses, tenant compte de la grosseur de l'agrégat pierreux.

Cependant, il y a lieu de suggérer à nos gestionnaires des opérations d'avoir la tendance d'utiliser un mélange plus pierreux, plus grossier, de choisir le mélange MB 6 au lieu de MB 7, le mélange MB 5 au lieu de MB 6 et ainsi de suite.

Si une telle politique était suivie sans nuire à la qualité de nos ouvrages en revêtement bitumineux, une économie globale de 0,5% de bitume utilisé serait garantie.

Ce cas est ouvert à la discussion.

Le directeur,

Guy Bourgault, ingénieur

GB/djm

c.c. M. René Blais, ingénieur, sous-ministre adjoint

ANNEXE B

Bulletin d'information "Coup d'Oeil", nov. 1975

BULLETIN D'INFORMATION

SERVICE DES
SOLS ET MATERIAUX
MINISTÈRE
DES TRANSPORTS

LABORATOIRE
CENTRAL

COUP D'OEIL

NUMÉRO 4

NOVEMBRE 1975

CHOIX DU TYPE DE MÉLANGE BITUMINEUX

Dans le tableau 4 de la section 16 du Cahier des Charges et Devis Généraux du Ministère des Transports, neuf types de mélange bitumineux sont présentés.

Bien que l'usage de chaque mélange y soit décrit très brièvement, plusieurs de ceux qui doivent choisir le type de mélange pour un contrat donné, ignorent quel doit être le mélange le plus approprié à ce contrat. Le présent bulletin veut fournir à ces personnes des explications qui leur permettront, nous l'espérons, un choix plus judicieux des mélanges bitumineux.

Ce choix doit se faire en fonction des exigences de chaque revêtement. Il doit donc être basé sur le type de travail à exécuter (couche de base, couche de liaison, couche de surface, couche d'usure, rapiéçage à la niveleuse ou à la main), sur l'épaisseur des couches à poser, et sur la disponibilité des agrégats.

Les principes généraux servant à déterminer le choix de tout type de mélange bitumineux sont les suivants:

1. Le meilleur mélange est celui qui possède pour l'usage donné l'optimum des propriétés suivantes: stabilité, flexibilité, imperméabilité, résistance en tension, résistance au dérapage, résistance à la fatigue et durabilité.

   Pour obtenir une bonne stabilité, une surface antidérapante à haute vitesse et résistant aux pneus à crampons, la teneur en pierre doit être élevée et la pierre doit être aussi grosse que possible.

   Pour les autres propriétés, la teneur en bitume doit être aussi élevée que possible, et c'est dans les mélanges fins que l'on peut mettre le plus de bitume.

2. La grosseur maximum de la pierre ne doit pas dépasser la moitié de l'épaisseur de la couche posée, et cela surtout pour les couches de surface et d'usure. La grosseur maximum est la distance moyenne entre les mailles du premier tamis où tous les granulats (100%) passent.

   Cela signifie, par exemple, que si l'on veut poser une couche de 1 1/2" d'épaisseur avec le mélange 4, 100% des granulats doivent passer le tamis 3/4".

3. Plus l'épaisseur d'une couche est grande, plus on peut mettre de pierre dans le mélange, et plus cette pierre peut être grosse. C'est le contraire pour les faibles épaisseurs.

   Cela veut dire que, pour les épaisseurs supérieures, la courbe du mélange doit se situer près de la limite inférieure, et inversement.

4. Une couche d'usure comprenant toujours une correction, son mélange doit donc être plus fin que celui d'une couche de surface.

   Par exemple, pour les couches de surface (c'est une couche exécutée au moment de la construction de la chaussée), le mélange 5 est ordinairement utilisé, tandis que pour les couches d'usure (c'est une couche posée durant la vie d'une chaussée pour corriger ses défauts et prolonger sa durée), les mélanges 6, 7, 8 ou 9 peuvent être utilisés selon l'épaisseur posée et selon l'agrégat et l'outillage disponibles.

5. Pour les couches de base (ce sont celles situées en-dessous de la couche de surface), les mélanges 1, 2 et 3 sont généralement utilisés selon l'épaisseur posée. Cependant, si une couche de base doit subir le trafic pendant un ou plusieurs hivers, le mélange 4 doit être utilisé parce qu'il faut alors une texture plus fermée.

6. Dans le tableau 4, les épaisseurs minimum indiquées sont réellement des minimum rigoureux à cause de la grosseur de la pierre. Cependant, les épaisseurs maximum indiquées ne sont que des suggestions à respecter à cause de l'outillage généralement utilisé par la plupart des entrepreneurs du Québec. Ces maximums peuvent être dépassés si un outillage adéquat est utilisé.

7. Pour estimer l'épaisseur d'une couche lorsqu'un taux de pose à la verge carrée est spécifié, on utilise par pouce d'épaisseur 110 livres par verge carrée, compte-tenu de la densité moyenne des agrégats utilisés au Québec.

   Cela signifie donc que, pour un mélange 4, le taux de pose minimum est de 165 livres par verge carrée.

Voilà en résumé quelques règles pratiques pour faire le choix d'un mélange bitumineux. Nous ne croyons pas que ces règles sauront solutionner tous les problèmes, mais nous espérons qu'elles seront d'une certaine utilité. De toute façon, pour les cas plus compliqués ou pour tout renseignement sur les mélanges bitumineux, vous pouvez toujours communiquer avec l'ingénieur responsable de la division Matériaux du Laboratoire Central.

ANNEXE C

Extrait des directives complémentaires en béton bitumineux du Service des Centres régionaux, mai 1979

2. FORMULE DE MELANGE

2.1 Présentation de la formule

Conformément aux stipulations de l'article 28,08,2B du Cahier des Charges et Devis Généraux, l'entrepreneur doit soumettre par écrit une formule de mélange.

Une formule doit être exigée lorsqu'il s'agit du début de la production d'un mélange pour la saison ou lorsqu'il y a changements de sources de matériaux ou changements dans les modes de fabrication.

2.1.1 Formule à présenter

La formule présentée peut être:

a) la moyenne de production de l'année précédente lorsque:
   - cette moyenne se conforme aux normes
   - le comportement du revêtement s'est avéré acceptable
   - les sources de matériaux ainsi que les modes de fabrication sont demeurés les mêmes.

b) une formule modifiée, lorsque les modifications font que les caractéristiques physiques jugées satisfaisantes demeurent inchangées ou encore soient améliorées.

c) une nouvelle formule, tel que mentionné à 2.1

2.1.2 Informations requises dans la formule

Les informations sont celles mentionnées à l'article 28,08,2B du C C D G et doivent être complètes.

Note: Lorsque la formule soumise par l'entrepreneur est la moyenne de la production de l'année précédente, les courbes donnant les caractéristiques physiques ne sont pas exigées.

2.1.3 Formulaire pour la présentation de la formule

Le ministère a proposé un formulaire et recommande son utilisation afin d'obtenir une certaine uniformité. (Voir annexe B).

2.2 Acceptation provisoire de la formule du mélange

L'acceptation provisoire de la formule de mélange doit se faire avant le début de la production du type de mélange concerné.

2.2.1 Critères d'acceptation provisoire:

Les critères d'acceptation provisoire pour les nouvelles formules ou toute formule sujette à des modifications sont ceux stipulés au nouveau tableau "Types de mélanges bitumineux" (page 2).

L'acceptation provisoire de la formule est une étape très importante dans le fonctionnement du système d'assurance de la qualité. Etant donné les conséquences de cette décision, il faut tenir compte de ce qui suit:

Réalisme

La formule doit être réaliste et comporter le minimum de

risque d'obtenir un produit non conforme. Si les chiffres proposés se situent près ou sur les limites permises, il doit y avoir immédiatement recommandation pour que des modifications soient apportées.

Propriétés physiques

L'acceptation provisoire est basée en grande partie sur les propriétés physiques. Pour appuyer le choix de la décision à prendre, il importe aussi de considérer certains points comme l'absorption des granulats, le V A M, la compactibilité, le pourcentage de V A M comblé par le bitume, l'épaisseur du revêtement à poser.

But visé

Un mélange doit être conforme aux normes pour le but visé. Exemple: un mélange préparé en vue d'une épaisseur de 75 mm peut être très bon mais n'aura pas les propriétés voulues s'il est posé en une couche de 37,5 mm.

Grosseur nominale

Il importe de considérer la grosseur nominale des granulats et le pourcentage de gros granulats dans le mélange. La grosseur nominale des granulats doit être entre le tiers et la demie de l'épaisseur de la couche à poser.

Pourcentage de gros granulats

Chaque type de mélange comprend un pourcentage minimum et un maximum de particules retenues sur le tamis 4,75. Chacun de ces pourcentages ainsi que les pourcentages intermédiaires doivent correspondre à une épaisseur de la couche à poser.

Dans le cas où le genre d'utilisation ne peut être clairement défini, il est recommandé que la granulométrie se situe près de la médiane.

Absorption en eau des granulats

Pour déterminer le pourcentage de bitume effectif ainsi que le pourcentage de bitume absorbé, il est indispensable de connaître le degré d'absorption en eau des granulats.

Les méthodes à utiliser pour déterminer l'absorption sont:

- Gros granulats , ASTM C 127
- Granulats fins , ASTM C 128

Dans le cas où la partie fine du mélange est composée de sable et criblure, l'absorption du granulat fin est faite sur le mélange des deux (sable+ criblure) selon les mêmes proportions que celles indiquées dans la formule soumise.

Le pourcentage d'absorption des granulats est la moyenne pondérée de l'absorption des différents calibres de granulats.

ANNEXE D

Bulletin d'information "Coup d'Oeil", mars 1977

BULLETIN D'INFORMATION

DIRECTION DES SOLS ET MATÉRIAUX
MINISTÈRE DES TRANSPORTS

LABORATOIRE CENTRAL

coup d'oeil

Vol. 2, n° 1 Mars 1977

Conservation de l'énergie dans la construction et l'entretien des chaussées flexibles

Des économies substantielles d'énergie dans la construction et l'entretien des chaussées flexibles deviennent possibles non seulement en modifiant le dèsign structural, mais encore en faisant un choix judicieux des mélanges et des procédés de fabrication des revêtements bitumineux. L'entretien préventif contribue également à la conservation de l'énergie dans le domaine routier.

Modification du type de design structural

Le ministère des Transports du Québec a expérimenté, près de Gentilly, le remplacement de pierre concassée par la stabilisation à l'émulsion de bitume d'un sable naturel. La distance de transport de la pierre aurait été en moyenne de 30 milles, tandis que celle du sable n'était en moyenne que de 10 milles. Considérant qu'un pouce de sable stabilisé remplace un pouce de pierre concassée, et qu'une tonne de chacun de ces matériaux couvre la même surface à la même épaisseur, une économie d'énergie de 40.7%, soit 145750 Btu sur un total de 357900 Btu, a été réalisée pour chaque tonne de sable stabilisé posé.

Par ailleurs, des modifications au type de design structural par l'utilisation de la technique du béton bitumineux à pleine épaisseur aurait été un autre choix possible. Comme ce design ne requiert que la moitié de la quantité de pierre prévue par le design conventionnel, on aurait réalisé, dans l'expérience de Gentilly, une économie d'énergie de 7.6% ou 28316 Btu par tonne de pierre concassée remplacée.

Conception et fabrication des mélanges bitumineux

Il est aussi possible d'économiser de l'énergie, en choisissant judicieusement parmi les variétés de mélanges, ceux qui minimisent le nombre de couches à poser. La sélection du type d'usine qui fabrique les mélanges peut également contribuer à cette économie. Par exemple, sur une section de l'autoroute 20, le design structural stipulait six pouces de béton bitumineux. L'usage courant alors prévoyait qu'une telle épaisseur soit posée en trois couches: base, liaison, et surface. Un choix judicieux des types de mélanges a permis d'éliminer la couche de liaison. Une base de quatre pouces d'épaisseur et une surface de deux pouces ont alors été posées.

Selon les données de l'Asphalt Institute, une couche de deux pouces de béton bitumineux posé sur une base, dont la température se situe entre 5 et 10°C, peut être fabriquée à une température de 8°C inférieure à celle d'une couche d'un pouce et demi posée dans les mêmes conditions. L'économie d'énergie est alors de 9300 Btu par tonne de mélange.

La fabrication du béton bitumineux par malaxage dans le tambour sécheur permet également une économie d'énergie. Depuis l'été 1974, des usines utilisant ce procédé fonctionnent au Québec. Il nous a été impossible d'obtenir des données précises sur l'économie d'énergie que réalisent les propriétaires de ces usines. Cependant, un rapport de Terrel et Miller indique une économie d'énergie de 26% avec ce type d'usine.

Revêtements préparés et posés à température ambiante

Les résultats obtenus au Québec montrent une économie importante d'énergie par rapport au béton bitumineux pour les mélanges à l'émulsion et les enduits bi-couches, si l'on considère seulement l'équivalence structurale de ces divers procédés. Cette économie est, par mille de longueur, respectivement de 50.3%, 49.8% et 32.2%, pour les mélanges à l'émulsion en place et en centrale, et pour les enduits.

Par ailleurs, si l'on applique une correction pour durée inférieure au béton bitumineux de 60% pour les enduits et 70% pour les mélanges à l'émulsion et au bitume liquide, seuls les mélanges à l'émulsion font alors réaliser une économie d'énergie. Cette dernière est respectivement de 29.0% et 28.4% pour les mélanges en place et en centrale. Finalement, il est à remarquer que l'utilisation des bitumes liquides fait dépenser beaucoup d'énergie, surtout à cause d'une teneur en solvant qui est perdue dans l'atmosphère une fois le curage complété.

Réutilisation des matériaux en place et entretien préventif

L'expérience acquise au Québec dans ce domaine est très limitée. Une section d'un vieux revêtement bitumineux a été broyée sur place et remélangée avec une émulsion par un pulvi-malaxeur. Une autre section a été sacrifiée à la chaleur, recompactée et recouverte d'une couche d'usure. Ces deux sections ne sont pas suffisantes pour permettre un calcul de l'énergie conservée dans ces cas.

La conservation de l'énergie dans ce secteur s'avère importante dans la mesure où la distance de transport des bons agrégats est considérable. Quant à l'entretien préventif, il est évident qu'il contribue à la conservation de l'énergie en prolongeant la vie de la chaussée et en retardant sa reconstruction.

Cependant, des valeurs précises sont difficiles à établir, surtout dans le cas de l'entretien mineur, tel que l'obturation des fissures, le rapiéçage, etc., car leur impact sur le prolongement de la durée de la chaussée est très ardu à évaluer.

Ce texte est un résumé de la conférence prononcée par Richard Langlois devant les membres de l'Association des routes et du transport du Canada (ARTC) en septembre 1976. Ceux qui désirent de plus amples informations peuvent s'adresser à l'auteur au Laboratoire central du Service des sols et matériaux, 2700 rue Einstein, téléphone: 643-3178.

ANNEXE E

Liste des types de recyclage des revêtements bitumineux

TABLEAU I

PROCEDES DE RECYCLAGE

DES VIEUX REVETEMENTS BITUMINEUX

I. PROCEDES EN PLACE

1. Procédés superficiels
   - A) Epandage d'un agent rajeunissant
   - B) Retexturisation de la surface
   - C) Scarification à chaud
     - a) sans ajout de mélange ou d'agent
     - b) avec ajout de mélange nouveau
     - c) avec ajout d'agent rajeunissant

2. Procédés à grande épaisseur
   - A) Pulvérisation à froid
     - a) sans ajout de liant
     - b) avec ajout de liant
   - B) Concassage sur place en grosses particules et utilisation dans les remblais.

II PROCEDES EN CENTRALE

A) 2 modes de récupération et de préparation du vieux revêtement
   - a) Pulvérisation du revêtement en place
   - b) Ramassage du revêtement et concassage en centrale au concasseur.

B) 3 modes de fabrication du mélange recyclé
   - a) méthode du Minnesote - Transfert de chaleur par le granulat nouveau dans le malaxeur (usine conventionnelle);
   - b) Méthode de transfert de chaleur par la flamme et les gaz de combustion;
   - c) Méthode mixte

     Usine tambour-sécheur-malaxeur de type CMI, Barber-Greene

     Usines à double tambours concentriques de type Cederapids

MINISTERE DES TRANSPORTS
QTR A 104 401