



RECYCLAGE DES REVETEMENTS BITU-
MINEUX.

CANQ
TR
GE
RC
150
155

471 267

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

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
200, RUE DORCHESTER SUD, 7^e
QUÉBEC, (QUÉBEC)
G1K 5Z1

REÇU
CENTRE DE DOCUMENTATION
MAR 16 1982
TRANSPORTS QUÉBEC

RECYCLAGE

DES REVETEMENTS BITUMINEUX

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

Par: Richard Langlois, ing. M.Sc.
Laboratoire Central
Ministère des Transports
Complexe Scientifique
2700 Einstein
Ste-Foy - Québec

TEXTE PRÉLIMINAIRE
SUJET À RÉVISER

QTRD

CANQ
TR
GE
RC
150

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier monsieur Rosaire Pépin pour sa précieuse collaboration au niveau de la recherche bibliographique et du texte sur le planage et la scarification à chaud et sur le recyclage à froid.

Un grand merci va également aux différents représentants d'outillage du Québec pour leur support par des documents et pamphlets techniques.

Des remerciements sont aussi adressés au personnel du Laboratoire Central qui a collaboré à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
I INTRODUCTION - - - - -	1
II GENERALITES	
A) Définition - - - - -	2
B) Etat du revêtement à recycler - - - - -	2
III CATEGORIES DE RECYCLAGE	
A) Recyclage en place - - - - -	5
B) Recyclage à froid à grande épaisseur - - - - -	17
C) Recyclage en centrale - - - - -	23
IV PROCESSUS A SUIVRE POUR LA PREPARATION D'UN PROJET DE PAVAGE BITUMINEUX - - - - -	36
V AVANTAGES DU RECYCLAGE - - - - -	43
VI CONCLUSION - - - - -	46
REFERENCES - - - - -	50

RECYCLAGE DES VIEUX REVETEMENTS BITUMINEUX

I INTRODUCTION

La rareté croissante des granulats de bonne qualité, dans certaines régions, la crise énergétique actuelle, le coût de plus en plus élevé d'extraction des substances bitumineuses, l'inflation des salaires et des coûts de transports, en deux mots les considérations économiques forcent les intéressés au domaine routier à développer de nouveaux procédés et à concevoir de nouveaux équipements de construction ou de réfection permettant d'utiliser autant que possible, les matériaux existants de façon à répondre aux exigences des normes routières, aux contraintes économiques et écologiques.

Les coûts de la construction routière ont monté en flèche depuis quelques années et les budgets s'y rapportant n'ont pas toujours augmenté au même rythme. De plus, les restrictions écologiques et de zonage jointes trop souvent à l'usage, sans discernement, d'un taux élevé des granulats de la meilleure qualité ont causé l'épuisement ou la rareté des ressources disponibles à proximité de nouvelles constructions routières.

Un moyen pour obvier à plusieurs de ces inconvénients serait de réutiliser les matériaux existants dans les chaussées à reconstruire, c'est à dire les "recycler".

II GENERALITES

A) Définition:

Le mot recyclage n'existait pas dans la majorité des dictionnaires il y a une vingtaine d'années. La signification approchée qui nous intéresse est celle tirée du Larousse 1973:

"Action de réintroduire dans une fraction d'un circuit ou d'un cycle de traitement un fluide ou des matières qui l'ont déjà parcourue, lorsque leur transformation est incomplète par un passage unique".

Dans notre cas, le cycle ou le circuit serait la chaussée et les matières seraient les vieux revêtements bitumineux qui ne sont pas dégradés au point d'être complètement transformés et d'avoir perdu toutes leurs bonnes propriétés. Une définition pertinente à notre sujet pourrait être: "Un procédé dans lequel on traite des vieux revêtements bitumineux pour leur redonner des propriétés au moins équivalentes à des revêtements neufs pour qu'ils puissent jouer pleinement leur rôle dans la chaussée.

B) Etat du revêtement à recycler

On peut classer l'état de la détérioration d'un revêtement bitumineux suivant quatre (4) paliers ou degrés:

- 1o Le premier palier est atteint durant la construction. Il est causé par le durcissement du bitume dans le malaxeur. Des essais de laboratoire sur des échantillons prélevés à la sortie du malaxeur permettent d'évaluer l'importance de ce durcissement. La température de malaxage a une influence primordiale sur ce durcissement (1).

- 20 Le deuxième palier est atteint sous l'influence du vieillissement et de l'usure normale dans les premières années après la construction et l'utilisation du pavage. Les premiers signes de détérioration sont l'apparition de mini-fissures de la largeur d'un cheveu, ou de micro-fissuration, perte de matériau de la matrice (arrachement), qui conduit à une perméabilité accrue à l'air et à l'eau. A ce stage, on peut améliorer la surface défectueuse par l'application d'un traitement superficiel.
- 30 Le troisième palier est atteint lorsque le pavage montre une surface plus usée, distordue, d'apparence générale pauvre avec indice de roulement très faible mais où la structure est encore solide. Un pavage à ce stage, peut être restauré avec succès par scarification ou meulage, ou par utilisation d'un planeur. Le matériau de surface peut et parfois doit être traité par un agent régénérateur. La nouvelle surface peut être recouverte par une couche de béton bitumineux.
- 40 Le quatrième palier est atteint lorsque la détérioration est telle que le pavage ne remplit plus le rôle pour lequel il a été conçu. Cet état est causé par un vieillissement excessif, beaucoup d'usure et souvent par un manque d'entretien adéquat. A ce stage de détérioration, l'application en surface par épandage d'un agent de régénération ne suffit pas pour restituer au pavage ses propriétés originales. Pour remédier à cette détérioration il faut prendre une des solutions suivantes, soit:
- a) Couche bitumineuse de rechargement, de préférence à granulométrie ouverte pour réduire la réflexion des fissures, et couche d'usure.

- b) Rechargement de gravier ou pierre et revêtement bitumineux.
- c) Enlever et mettre de côté le pavage et en construire un nouveau.
- d) Récupérer le vieux pavage bitumineux pour le traiter selon l'un des procédés de recyclage.

En résumé, lorsqu'un désordre est constaté sur une chaussée, plusieurs options sont disponibles et le recyclage est l'une des options à considérer. La liste suivante présente de façon schématique ces options:

- 1) Pas d'action immédiate
- 2) Entretien routinier
- 3) Traitement de surface
- 4) Couche d'usure
- 5) Rechargement de faible épaisseur
- 6) Rechargement de forte épaisseur
- 7) Remplacement
- 8) Recyclage

III CATEGORIES DE RECYCLAGE

On peut regrouper les modes de recyclage en deux grandes catégories: en place et en centrale, le tableau # 1 donne un résumé des divers procédés.

A) Recyclage en place

Pour nos types de revêtements, l'épandage d'un agent rajeunissant seul ne peut convenir, il faut l'utilisation de scarificateurs et de broyeurs si le matériau à recycler en tout ou en partie comprend un revêtement bitumineux ou de béton de ciment.

Le recyclage en place se présente sous deux (2) formes différentes selon les types de procédés:

- a) Procédés superficiels;
- b) Procédés à grande épaisseur.

La figure # 1 illustre deux (2) types de raboteuses à froid qui peuvent exécuter la retexturisation de la surface qui redonne au revêtement ses caractéristiques antidérapantes.

La figure # 2 montre un pulvi-malaxeur qui peut réaliser le recyclage à grande épaisseur et en stabilisation. Dans les figures # 3 et 4, sont présentés divers types de machines pouvant réaliser le recyclage superficiel à chaud, soit par planage et ou scarification.

1) Procédés superficiels

a) Appareils pour retexturisation

Ils sont munis d'un baril horizontal rotatif sur la périphérie

TABLEAU 1

PROCEDES DE RECYCLAGE

DES VIEUX REVETEMENTS BITUMINEUX

I. Procédés en place

1. Procédés superficiels

- A) Epandage d'un agent rajeunissant
- B) Scarification à chaud
 - a) sans ajout
 - 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. Procédés 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 Minnesota - 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

Usines tambour-sécheur-malaxeur de type CMI, Barber-Green
Usines à double tambours concentriques de type Cedarapids

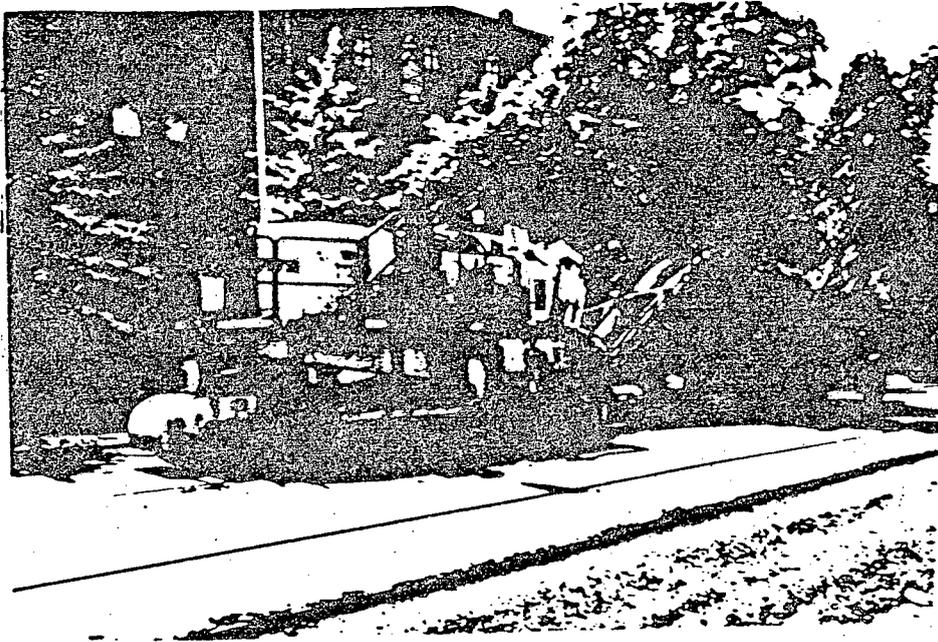
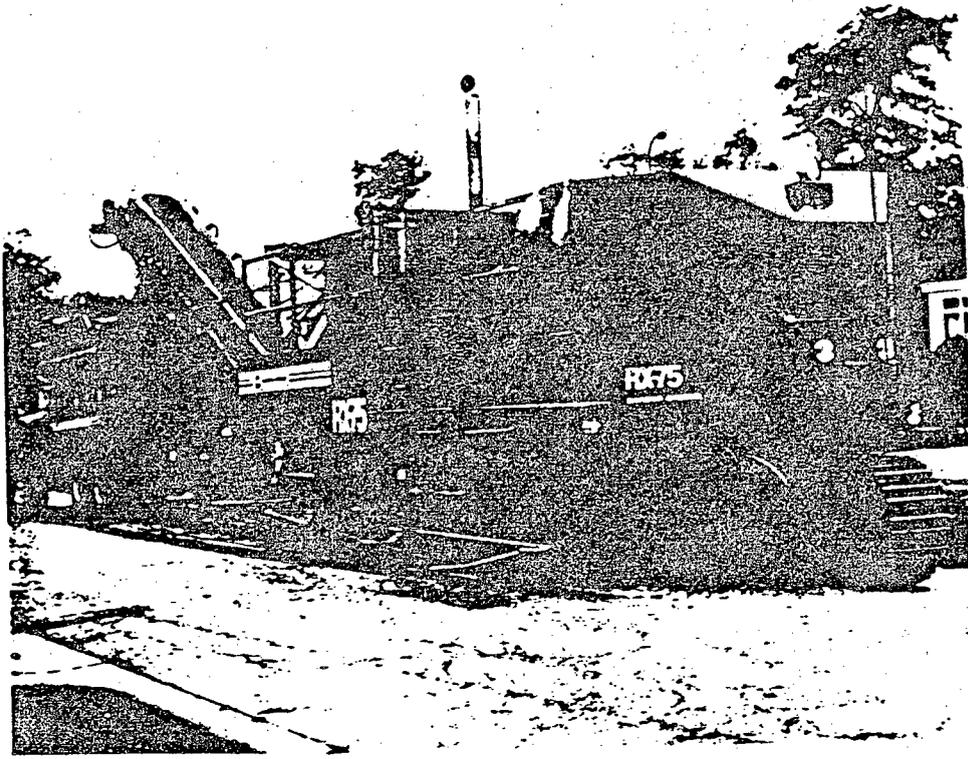


FIGURE # 1 - RABOTEUSE A FROID

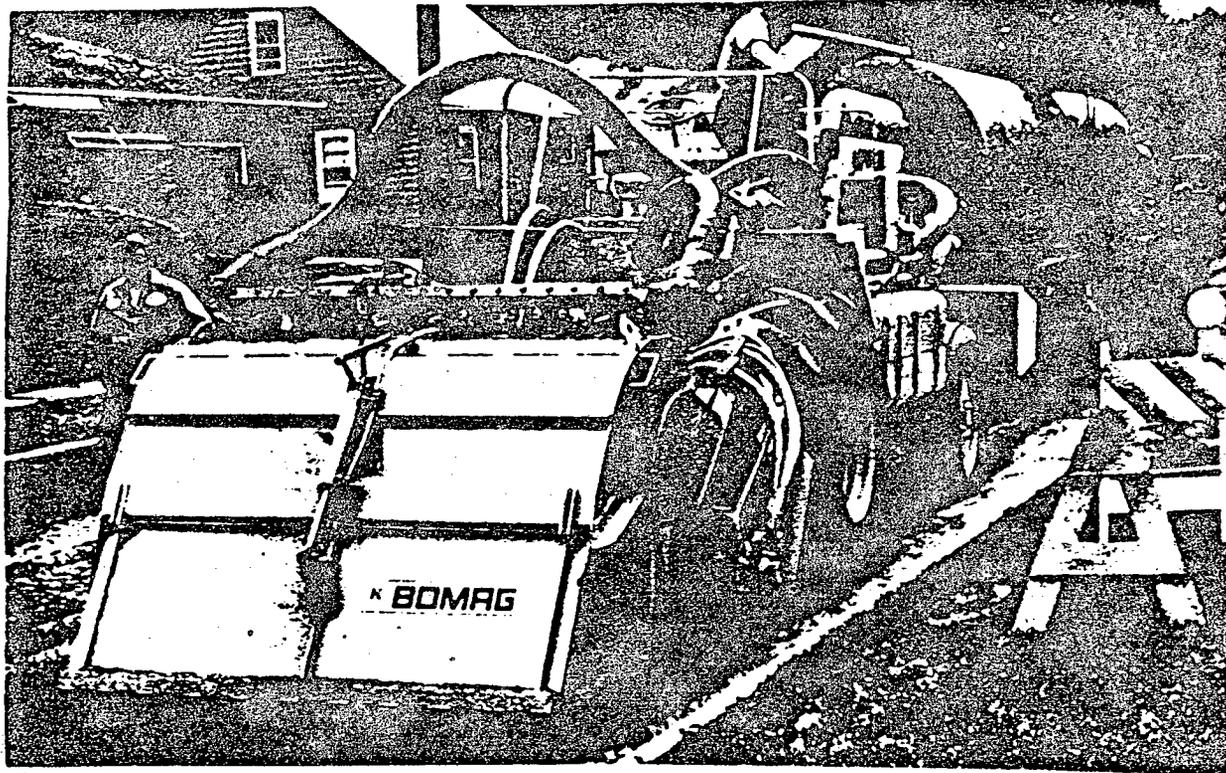


FIGURE # 2 - RECYCLAGE EN PLACE A FROID

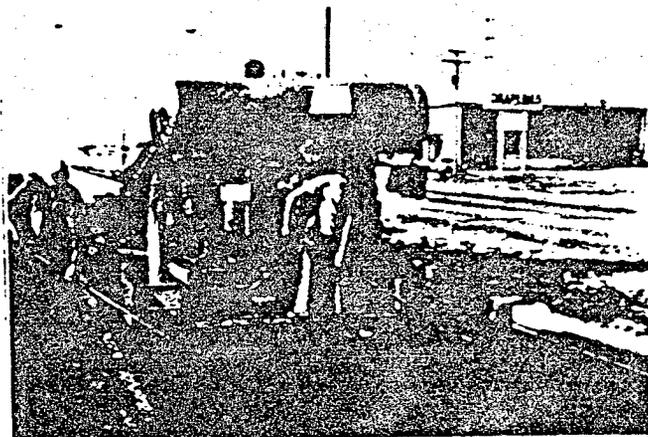
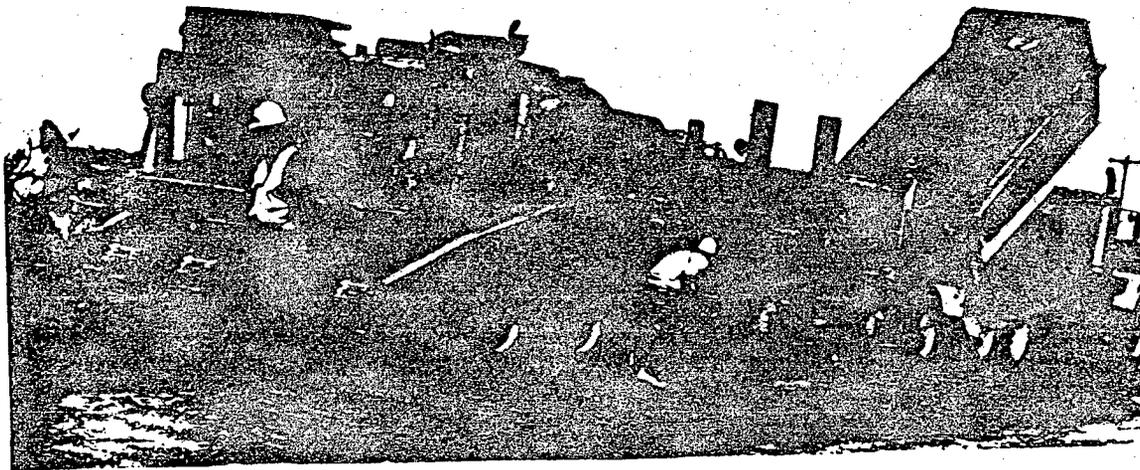


FIGURE # 3 - RECYCLAGE EN PLACE A CHAUD

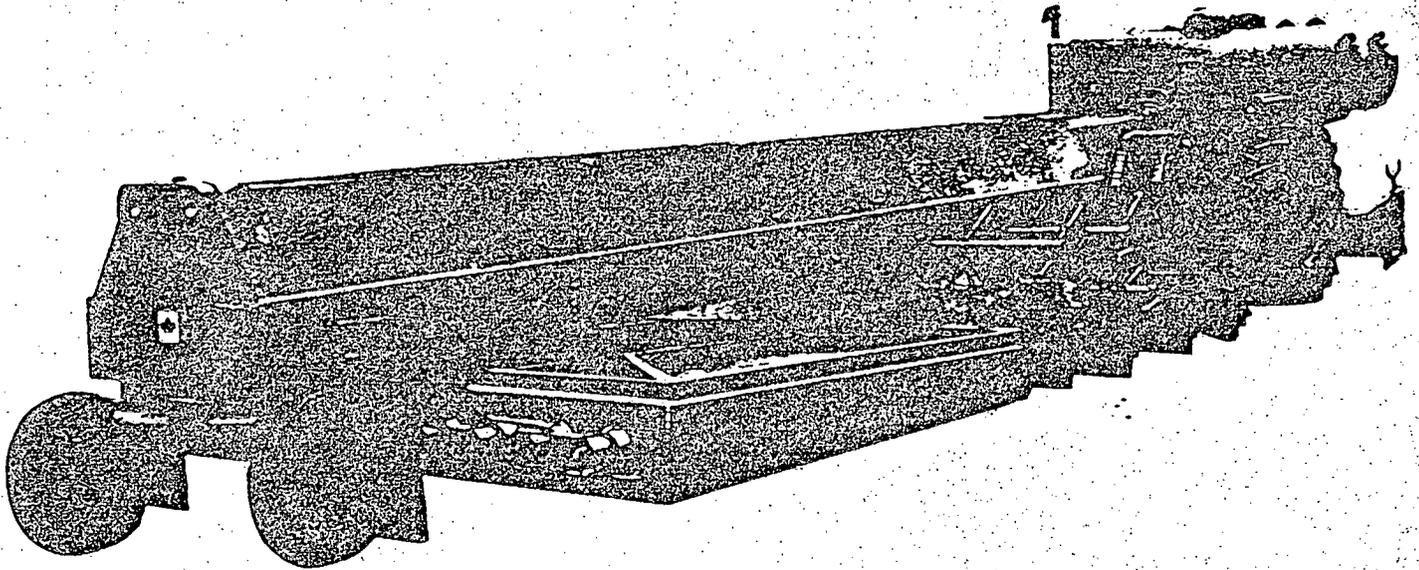
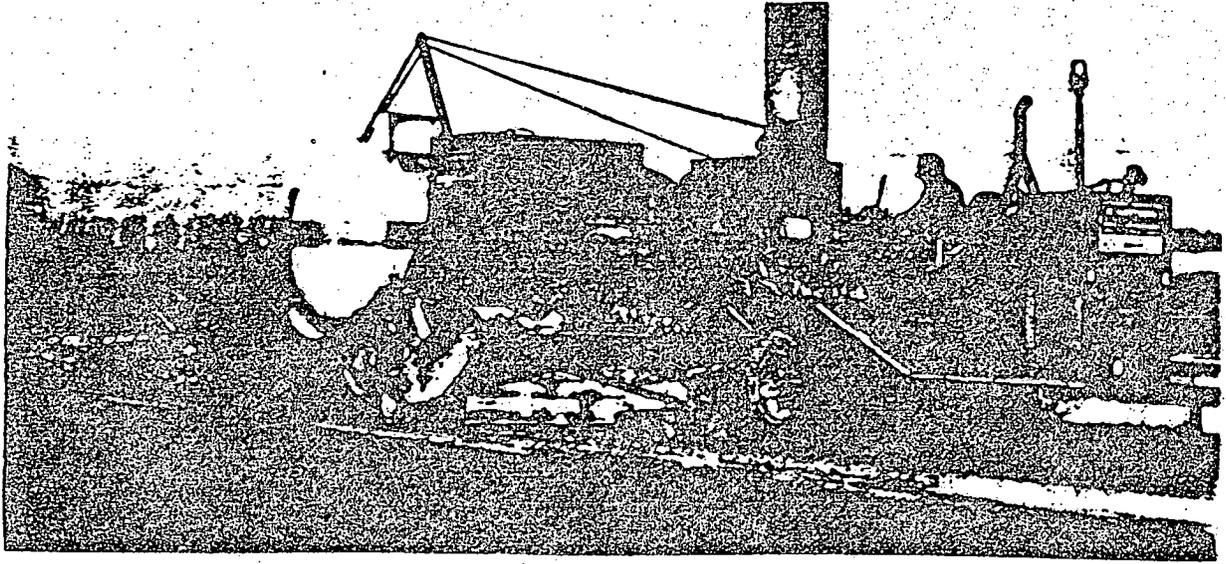
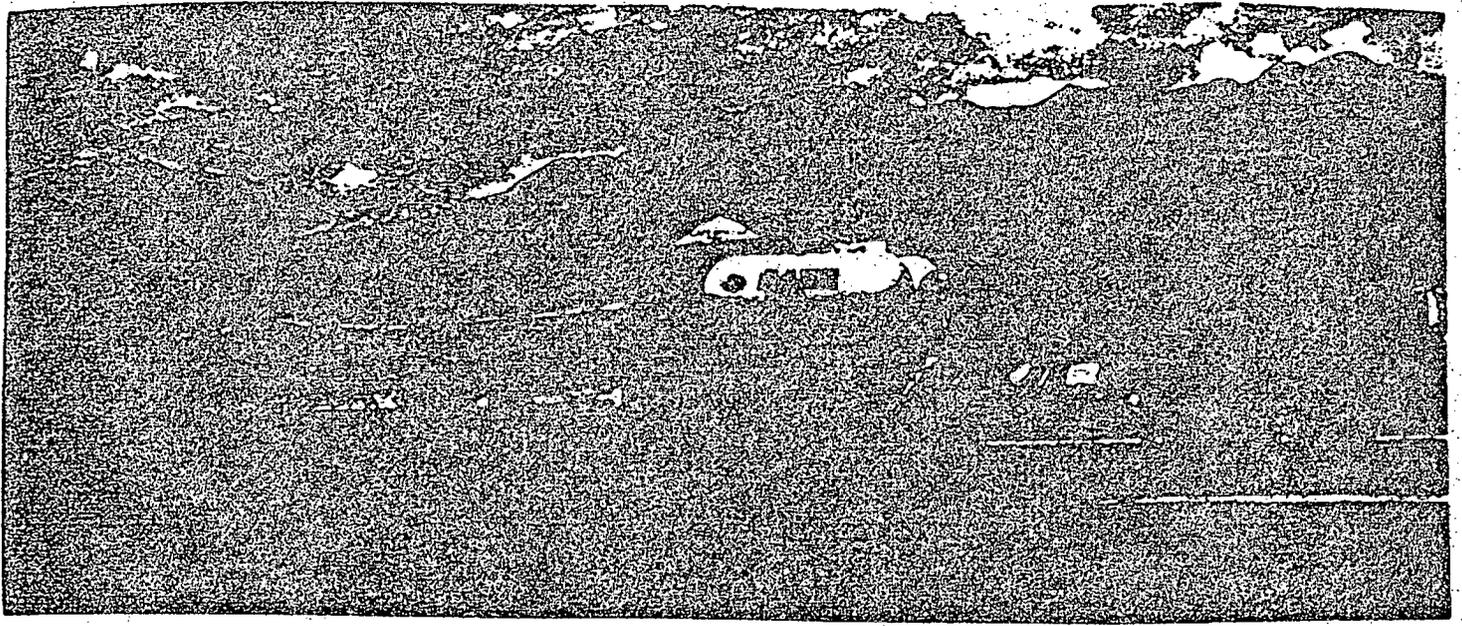


FIGURE # 4 - RABOTEUSE A CHAUD

duquel des dents (faites de carbure de tungsten) de coupage remplaçable permettant d'attaquer ou de "ciseler" la surface du revêtement à modifier. La surface du revêtement n'est pas réchauffée avant le travail de planage par cet équipement de réparation.

b) Appareils de scarification à chaud

Ils sont généralement constitués de plusieurs sources chauffantes distribuées de façon à répartir la chaleur sur une surface donnée et munis d'une lame tranchante ajustable selon les conditions du moment.

Aux Etats-Unis, le planage des surfaces de revêtement n'est pas nouveau puisque vers 1930, le planage à froid fut introduit pour enlever l'excès ou des couches de revêtement endommagés. Vers 1950, le chauffage en surface fut essayé afin de réduire l'énergie requise par le planage à froid des matériaux des revêtements flexibles. Depuis, cette méthode de réparation, avec chauffage a été appliquée avec différents succès dans une multitude de cas.

Malgré ses avantages et son usage assez généralisé aux Etats-Unis, et en plusieurs endroits au Canada, des spécialistes de l'armée américaine trouvent que le chauffage affecte le bénéfice ultime de cette technique de réparation des revêtements flexibles. Dû à la haute température, des problèmes sont créés dans les revêtements bitumineux.

La transmission de niveaux élevés de température dans les pavages amènent des situations critiques, parce qu'une quantité de chaleur suffisante doit être récupérée par le revêtement dans la zone de cisaillement pour en diminuer avantageusement l'effort nécessaire tout en minimisant les chances d'introduire les produits de combustion délétères, ou d'y soutirer certains composés plasticisants.

Une diminution de ces derniers composés cause normalement un vieillissement prématuré de la structure du revêtement. Les produits de décomposition des matériaux bitumineux, dus à leur exposition à une chaleur trop élevée, non seulement réduisent la proportion de bitume des revêtements, mais causent de l'interférence avec les propriétés liantes du bitume.

On peut ramener à trois les procédés thermiques de base pouvant être utilisés dans une première étape d'un procédé total d'entretien ou de recyclage, à savoir:

- a) chauffage de la surface;
- b) chauffage et planage;
- c) chauffage et scarification.

a) Chauffage de la surface

Ce procédé permet d'amollir la surface bitumineuse et d'en

augmenter la liaison ou l'adhérence. Une fois chauffée, la surface ramollissante peut être roulée, pour en chasser les petites irrégularités. A un revêtement souffrant de ressuage ("bleeding") on peut alternativement avec chauffage y additionner un granulat, ou pour améliorer la texture du revêtement et aussi la résistance en dérapage. Pour améliorer l'adhésion et l'uni de la surface, on roule celle-ci pendant que le matériau est suffisamment chaud.

b) Chauffage et planage

Ce procédé permet d'enlever le béton bitumineux, qui se trouve au-dessus du profil désiré. Le planage aide à obtenir une surface bitumineuse relativement unie. La nouvelle surface peut demeurer telle quelle ou être recouverte.

c) Chauffage et scarification

Ce procédé aboutit à un recouvrement avec un nouveau mélange bitumineux habituellement plus mince, épaisseur qui autrement aurait été impossible étant placé sur le matériau scarifié, soit avec ou sans autre manipulation et/ou compactage. Les américains appellent cette opération "heater overlay".

La terminologie utilisée pour ces trois méthodes varie avec les différents milieux. Les méthodes peuvent varier aussi selon l'entrepreneur, les caractéristiques régionales et le type d'équipement utilisé.

L'utilisation de réchauffeurs comporte des avantages et des inconvénients et certaines améliorations peuvent encore être apportées:

- 10 Le chauffage par utilisation directe de la flamme sur la surface du mélange bitumineux à recycler entraîne trop souvent un degré de brûlage d'une proportion trop forte de l'épaisseur ramollie par ce procédé, gaspillant le liant qui pourrait y être récupéré.
- 20 Des recherches se poursuivent pour employer des sources de chaleur indirectes où la flamme ne touche pas directement au revêtement à réchauffer. Les infrarouges et les micro-ondes en sont des exemples.
- 30 Des considérations théoriques et pratiques démontrent que la profondeur ramollie suffisamment par le réchauffeur, pour être travaillée ou remélangée et recompactée avec satisfaction, est souvent inférieure à 10 mm.
- 40 L'inspection de la distribution de la température résultante à travers la partie du revêtement traité révèle qu'à l'endroit où l'appareil de chauffage agit, la température diminue rapidement à mesure que l'on s'éloigne de la surface. A 20 mm la température est pratiquement la même que s'il n'y avait pas eu de source de chaleur au-dessus du revêtement en cet endroit.
- 50 Il y a encore beaucoup de questions à résoudre concernant les méthodes ou équipement de chauffage utilisés couramment pour la réparation ou l'entretien des revêtements bitumineux. Sous certaines conditions, plusieurs méthodes utilisées devraient inclure des techniques d'entretien acceptables et un renouvellement de revêtement satisfaisant. Cependant, dans plusieurs cas, plusieurs revêtements ont subi des dommages par chauffage causant une diminution de la vie de ces revêtements qui entraînent une augmentation du prix de revient.

Les développements d'équipement en cours et les procédés d'exécution ne portent pas encore assez d'attention à plusieurs des propriétés du bitume; à savoir:

- 1o Le bitume peut être endommagé par exposition excessive aux températures élevées. Cette situation déplorable se présente encore trop souvent sur les chantiers routiers.

- 2o Les substances bitumineuses froides ne se lient pas bien et toute tentative pour réunir par compression des granulats enrobés de bitume froid, peut seulement conduire à de futurs problèmes, car la couche où se trouvent les éléments scarifiés est près de la surface de roulement et que la circulation élevée y applique de fortes contraintes.

Selon ces mêmes spécialistes (4, 9, 12, 13, 15, 21, 33) les méthodes thermiques ont un grand potentiel et devraient être développées davantage; l'épargne d'argent possible par l'usage d'une de ces méthodes est d'un potentiel hautement significatif.

Les scarificateurs-chauffants (heater-scarifiers) tels qu'utilisés dans le "Toronto métropolitain" par le Roads and Traffic Department sont une modification des planeuses avec système chauffant où on a remplacé l'arête tranchante par une série de pointes ou dents. Le matériau bitumineux chauffé est scarifié, bouleversé et mélangé. Un dispositif de réglage, en arrière du réseau des pointes, redistribue le mélange à un niveau désiré de la même manière que la latte de réglage d'une épandeuse (paver) à béton bitumineux.

Une étude (4) a permis de constater les faits suivants:

- 1o Que la densité ou le degré de compaction du matériau de recouvrement obtenu par scarification avec système chauffant était identique à celle des endroits où on n'avait pas scarifié en avant de la couche de béton bitumineux de recouvrement, tout en employant le même effort de compaction dans les deux cas.
- 2o Que le procédé de chauffage et scarification ne cause pas de diminution de la pénétration du bitume ou n'entraîne pas de perte significative de flexibilité et de durabilité du revêtement bitumineux.

Un autre avantage, pour les surfaces bitumineuses glissantes par suite de polissage de granulats ou de ressuage, on peut étendre un granulat de granulométrie équivalente à celle pour couche d'usure en avant du scarificateur qui lors du passage n'utilise que le système de chauffage. La pierre et la surface du revêtement sont toutes deux chauffées. Pendant que la surface est amollie, on enfonce la pierre en y faisant circuler des rouleaux d'acier ou pneumatiques.

Le Roads and Traffic Department du Toronto Métropolitain a employé trois (3) machines différentes avec des rendements presque identiques. Deux (2) machines ont un système chauffant: la Jackson et la Johnson; la première a une latte oscillante, tandis que la deuxième a une latte vibrante. La troisième, du nom de Wirtgen, fournie par une compagnie allemande, est spécialisée dans le domaine du planage des revêtements bitumineux, et permet de "planer" des surfaces bitumineuses à plus basse température que ne le peuvent les deux (2) premières. Par contre, l'économie de carburant ne fait que contrebalancer le surplus du coût d'entretien des couteaux fixés autour du cylindre tournant. La machine Wirtgen peut être modifiée pour la scarification avec addition d'un dispositif de réglage.

L'usage d'un scarificateur chauffant est très indiqué pour refaire la surface d'un revêtement distordu où la pose d'une nouvelle couche épaisse serait à prohiber.

Dans les cas où les fondations d'une route ou d'une rue ont failli à la tâche, si les aires des zones sont importantes, une reconstruction complète s'impose comme la solution la plus plausible.

Tenant compte de la crise énergétique et du prix du bitume lorsqu'on a un problème de revêtement à solutionner, on doit considérer maintenant l'usage du scarificateur chauffant comme un équipement des plus intéressant pour économiser les quantités de bitume utilisées.

Au Québec, des essais sur la route 161 ont montré que la scarification à chaud peut corriger le profil de la route aussi bien qu'une couche de correction, mais, même avec Reclamite comme agent rajeunissant, elle ne diminue pas la réflexion des fissures et elle est plus dispendieuse qu'une couche de correction de 30 kg/m².

B) RECYCLAGE A FROID A GRANDE EPAISSEUR

Au Québec en 1969, on a procédé à la réfection de la route entre Mont-Laurier et Fermé-Neuve par le procédé de recyclage à froid.

Cette route avait été construite en automne 1953, avec un contrôle qualitatif réduit. Quelques excavations effectuées en 1968 démontrant les parties remblayées lors de la construction, avaient été faites avec des matériaux détremés. La teneur en eau des matériaux lors de l'excavation correspondait à celle de la limite de liquidité. La majorité des matériaux de l'infrastructure étaient très gélifs. (ML. ML,CL).

La structure de la chaussée était d'épaisseur et de capacité portante variables. Un revêtement de béton bitumineux de 75 mm avait été posé en 1959.

Une circulation lourde et d'importants soulèvements par le gel, l'état de fissuration avancé, toutes ces raisons causaient une qualité de roulement inacceptable et devaient entraîner la reconstruction partielle de la structure routière. On améliora le drainage et on excava les zones instables qui constituaient 20% de la route.

La solution choisie fut de stabiliser ou recycler une épaisseur de 150 mm de matériau comprenant 75 mm de pavage bitumineux et 75 mm de gravier de la fondation supérieure. Le tout, après scarification et broyage du vieux pavage au préparateur Bros, a été traité avec une émulsion bitumineuse SS-2, au taux de 4.5%. La nouvelle couche produite a été recouverte d'un revêtement bitumineux de 50 mm d'épaisseur. Les travaux avaient été effectués majoritairement en automne par temps humide. Après un an, la cure de la couche recyclée à l'émulsion n'était pas encore terminée mais indiquait tout de même qu'une épaisseur de 1 mm de mélange recyclé équivalait à 1.4 mm de l'ancienne structure routière.

Lors de l'exécution en 1969, la scarification et le broyage du vieux revêtement a coûté $\$0.42/m^2$, d'où le coût du recyclage pour une couche de 150 mm d'épaisseur fut de $\$1.62$ le mètre carré.

Entre 1969 et 1972, trois fois par année, des relevés à la poutre Benkelman, au roulemètre Wiscosin et des relevés visuels, ont permis d'évaluer le comportement et de tirer les conclusions principales suivantes:

- 1) La section de route traitée à l'émulsion a démontré une meilleure uniformité structurale qu'une autre section nouvelle construite suivant la méthode conventionnelle: l'écart-type de la déflexion pour la section recyclée est plus petit que celui de la section conventionnelle.
- 2) Pour un coût de 50 à 75% moindre, la capacité portante du tronçon de route recyclée à l'émulsion est la même que celle construite d'après la méthode conventionnelle.
- 3) En fonction du temps, du moins pendant trois (3) ans (1969-72) la déflexion augmentait moins rapidement dans la section recyclée que dans la section nouvellement construite suivant la méthode conventionnelle.
- 4) La section recyclée était moins affectée par les cycles gel et dégel que la section conventionnelle nouvelle (1969).
- 5) L'évaluation du coefficient de roulement qui indique la performance de la chaussée avec les années est supérieure pour les sections traitées à l'émulsion.
- 6) Après trois (3) ans (en 1972) il y avait douze (12) fissures au

kilomètre pour les sections recyclées causées majoritairement par des mauvaises transitions dans les matériaux situés sous la couche recyclée.

- 7) Dans la section de la route reconstruite suivant la méthode conventionnelle, on comptait en 1972, 230 fissures au kilomètre. Ces fissures s'étaient élargies avec le temps.

D'autres cas de recyclage à froid de revêtements récupérés existent et particulièrement ceux de l'état du Maine.

En 1975-76, le département des Transports de l'état du Maine aux Etats-Unis, a fait réaliser trois projets de recyclage de vieux revêtements bitumineux en employant le broyage par marteau mobile. Le rapport préparé sous la responsabilité de David W. Rand (16), y fournit maints détails sur les trois réalisations. Les couches recyclées ont 100, 200 et 300 mm d'épaisseur. Dans chaque section, i.e., pour les trois routes, après revision des projets en cours de réalisation, ces couches recyclées constituent soit une couche de fondation traitée, soit une couche de base recouverte par une couche de revêtement bitumineux préparée à chaud.

1er cas

Le revêtement sur la route 9 dans les cantons 28 et 22 MD a été réutilisé comme couche de fondation sur la nouvelle route relocalisée.

2e cas

Le vieux revêtement en macadam sur la route 1-95 dans ETNA-CARMEL a été recyclée sur une épaisseur de 300 mm et employé sur les lieux mêmes.

3e cas

Le vieux revêtement de différentes sous-sections de la route 17 dans la petite ville de Washington a été recyclé plutôt que d'ajouter une quantité excessive de béton bitumineux pour compenser les dépressions importantes.

Suite à la réalisation d'une partie de travaux de recyclage, d'après la conception originale et les exigences des trois contrats, une inspection faite au printemps 1976 sur les trois routes démontrait après un hiver d'utilisation des faiblesses dans les couches recyclées par broyage au marteau mobile telles que ornières et début de fissuration, et que les structures routières, y compris les couches recyclées, avaient été affectées par l'eau et le gel. Des essais en laboratoire avaient confirmé ces susceptibilités de même que le besoin d'addition d'une émulsion bitumineuse au taux de 4%; ceci devait aider à rendre plus imperméable à l'eau et plus durable la couche recyclée. D'après les informations apprises du laboratoire et du chantier routier, les projets ont été reconçus et les corrections appliquées avec l'addition d'émulsion tel que suggéré précédemment par le laboratoire avec en plus une augmentation dans les épaisseurs de couches de béton bitumineux devant recouvrir les couches bitumineuses recyclées.

Dans le cas particulier de la réalisation du projet concernant la route INTERSTATE 1-95, ETNA-CARMEL, la couche à recycler de 300 mm était constituée à la partie supérieure d'un macadam aquifère d'une épaisseur de 215 mm.

Finalement la comparaison de prix entre les structures de la section recyclée en 1976 \$10.65/m² et celui d'une section de contrôle conventionnel \$3.82/m², est presque le triple; d'où la différence des coûts est \$6.83 le mètre carré pour corriger par recyclage la base en macadam

aquifère et éliminer la possibilité de la réflexion des fissures dans le pavage de recouvrement.

Les informations acquises suite à l'exécution de ces projets montrent que les matériaux recyclés en 1975 (broyage au marteau mobile) possédaient une grande stabilité d'après les essais effectués sur des échantillons représentatifs selon les procédés utilisés pour le béton bitumineux. Plusieurs constatations avaient amélioré l'information quant aux propriétés physiques et au comportement des couches recyclées au premier stade, soumises aux conditions sévères de la circulation et de l'hiver.

L'expérience a démontré que la couche obtenue par recyclage du vieux revêtement bitumineux (1er stade) peut être affectable par le gel (stade 1). De plus, les observations révèlent clairement qu'une couche de revêtement bitumineux recyclée à froid ne peut être substituée pour une couche de liaison posée directement sous une mince couche d'usure.

L'auteur de ce rapport mentionne que le procédé de recyclage des revêtements tel qu'utilisé dans l'exécution de leur trois (3) projets n'est pas une méthode bon marché.

L'avantage du procédé de recyclage à froid avec utilisation du broyeur à marteau mobile réside dans le fait que certains problèmes pouvaient être corrigés qui n'auraient pu l'être d'une autre façon excepté par l'excavation et le rejet de matériaux gélifs et autres. La différence de prix dans quelques cas est difficile à justifier parce que le matériau recyclé utilisé par cette méthode peut être remplacé par du gravier concassé, celui-ci de coût beaucoup moindre.

C) Recyclage en centrale

Ce recyclage se fait à chaud en centrale. La définition officielle décrit ce procédé de la façon suivante: "Dans le recyclage existant, incluant dans quelques cas la couche de fondation sous-jacente, est enlevée, réduite en morceaux et mélangée à chaud avec du bitume dans une centrale. Ce procédé peut aussi inclure des additions d'un nouveau granulat et/ou des agents de ramollissement. Le produit fini résultant est un mélange bitumineux recyclé à chaud, à employer comme couche de base, couche de liaison ou couche de surface".

Cette définition dit ce qu'est le procédé, mais ne fait pas allusion à la conservation de l'énergie et des ressources naturelles, la possibilité de réduction des coûts et des changements à apporter et à la possibilité de meilleure conception de mélange, ce qui est aujourd'hui une mission d'une extrême importance concernant ce procédé. Le recyclage à chaud de l'avis de plusieurs, sera un point tournant aux programmes nationaux de conservation de l'énergie et des matériaux.

Le développement moderne du recyclage à chaud des revêtements a commencé il y a environ 6 ans. Il a progressé à un point tel que l'on peut maintenant espérer réellement qu'il devienne une partie régulière des programmes de revêtements pour les quelques prochaines années. Il est temps que les gens intéressés ou préoccupés par les problèmes de revêtements bitumineux se familiarisent avec le recyclage à chaud afin qu'ils puissent l'utiliser et cela avec plus de facilité.

Le procédé de recyclage à chaud comprend trois (3) parties:

- 1o Enlèvement du revêtement et réduction en petits morceaux d'une dimension maximum de 225 mm. Cette pulvérisation est obtenue soit par scarification et concassage, soit par fraisage à froid.

- 2o Le procédé de recyclage en centrale qui peut se faire, soit dans une centrale conventionnelle pour le béton bitumineux, soit dans un tambour-sécheur-malaxeur.
- 3o Répandage, réglage et compactage. Aucun équipement spécial n'est requis. On peut se servir du matériel conventionnel sur le chantier pour effectuer la mise en place du mélange bitumineux recyclé qui se pose d'ailleurs à des températures de l'ordre de 105 à 150°C.

Les spécifications jusqu'à date ont été grandement influencées par celles des mélanges conventionnels avec des modifications nécessaires à l'accommodement du recyclage et les résultats en Amérique du Nord sont satisfaisants pour la grande majorité des projets expérimentaux.

Il est très important de rappeler que les laboratoires ont et auront un rôle prépondérant dans la conception et le contrôle des mélanges recyclés et particulièrement à propos de la composition et des caractéristiques des revêtements bitumineux récupérés.

Le contrôle de la qualité pendant le recyclage en centrale est aussi important que pour la préparation des mélanges à chaud conventionnels.

En résumé, il existe donc deux (2) modes de récupération du revêtement bitumineux.

- a) Le fraisage à froid, (voir figure # 1) qui concasse le vieux revêtement à la grosseur requise pour le malaxage dans la centrale d'enrobage.
- b) Le bris avec rippes en gros morceaux, le ramassage avec benne frontale (payloader) et le concassage dans des concasseurs conventionnels.

Pour la fabrication du mélange bitumineux trois (3) méthodes différentes peuvent être utilisées.

- a) La méthode du transfert de chaleur par le granulat dans une centrale conventionnelle discontinue ou à fournée. Le maximum de revêtement bitumineux qui peut être recyclé est de 50%. Les figures # 5 et 6 illustrent bien ce procédé et comment se fait le transfert de chaleur.
- b) La méthode de transfert de chaleur par la flamme et les gaz de combustion du tambour-sécheur. Les centrales à tambour-sécheur-malaxeur (TSM) de type Boeing sont de cette catégorie et peuvent réaliser jusqu'à 100% de recyclage, à condition que la production soit réduite un peu et que de l'eau soit ajoutée sur le matériau entrant dans le tambour-sécheur. Les figures # 7 et 8 montrent ce procédé.
- c) La méthode mixte utilise le transfert de chaleur par les granulats, la flamme et le gaz de combustion. Elle s'exécute au moyen des centrales TSM à double zone. Les figures # 9 à 13 illustrent bien ce procédé. Les principales marques de centrales de ce type sont CMI, Barber Greene, Cedarapids. Le maximum de recyclage avec ce procédé est de 70%, mais des études se font présentement par les firmes pour l'augmenter à 80 ou 85%.

FIG#5 : RECYCLAGE DANS UN POSTE D'ENROBAGE

À CHAUD DISCONTINU

Schéma de principe

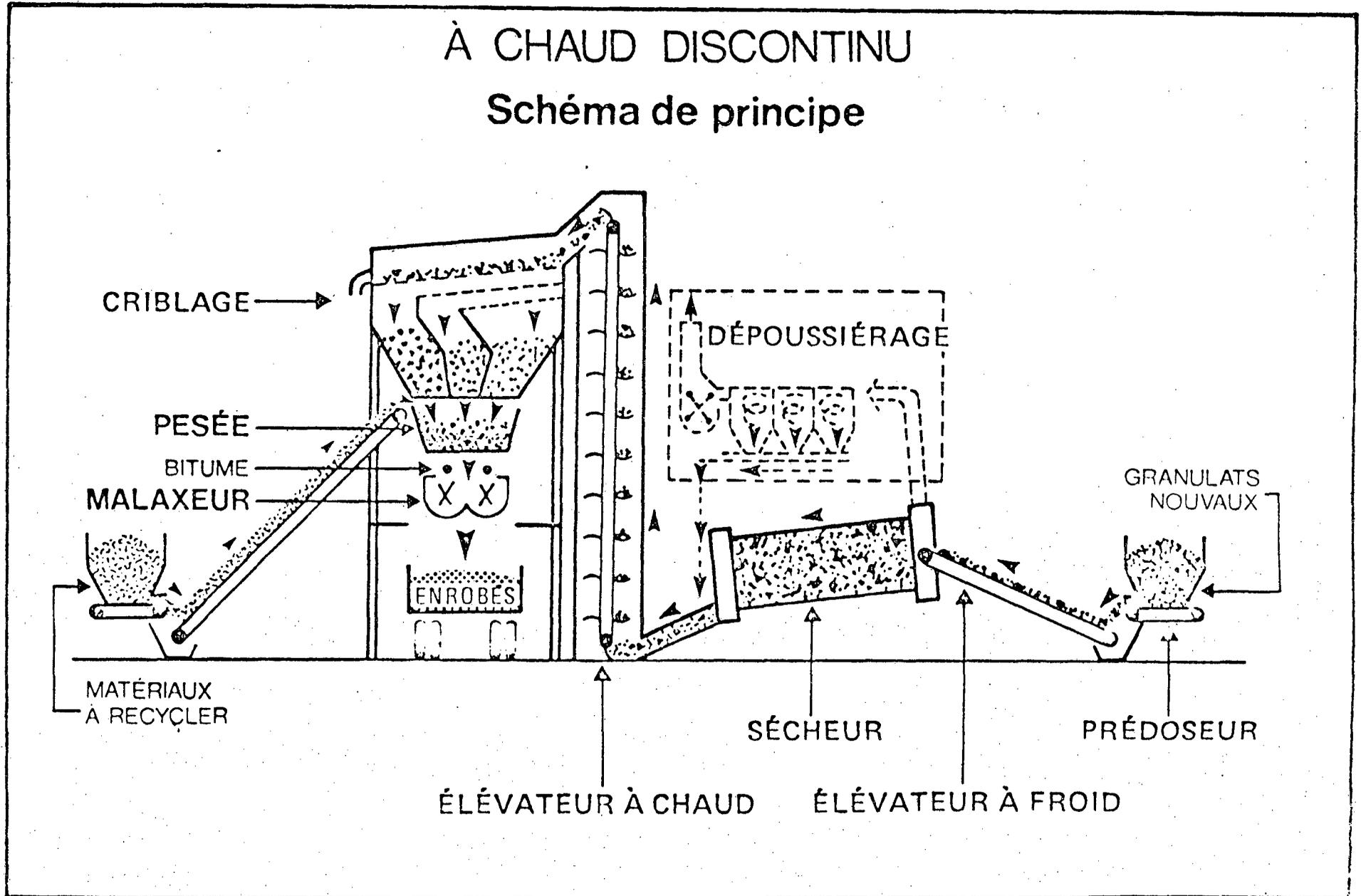
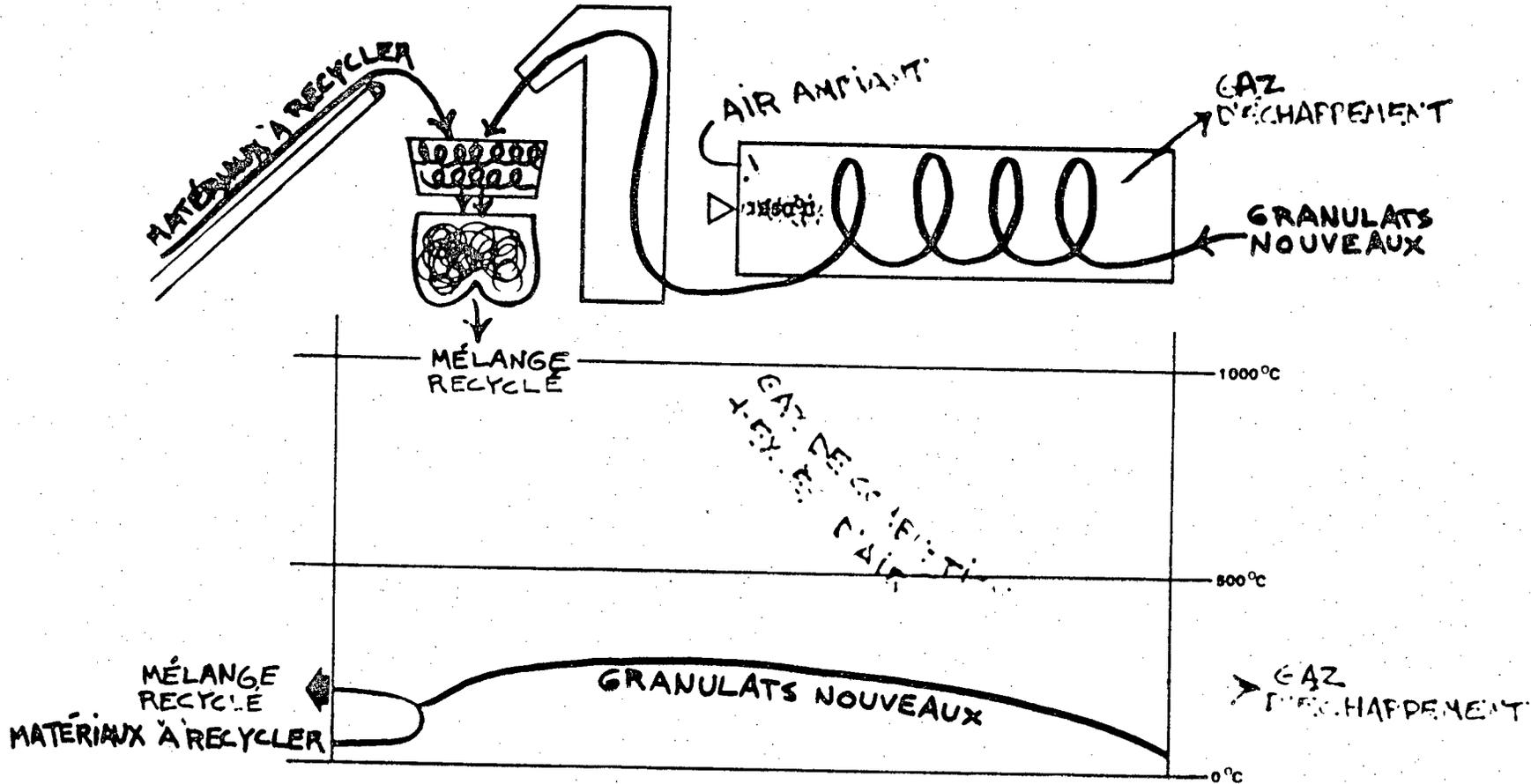


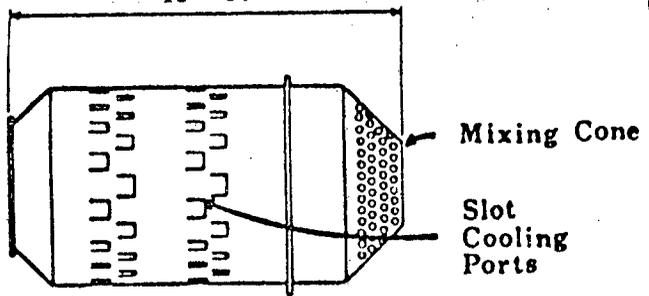
Fig: 6

POSTE DISCONTINU CONVENTIONNEL
(TRANSFERT DE CHALEUR DANS LE MALAXEUR)

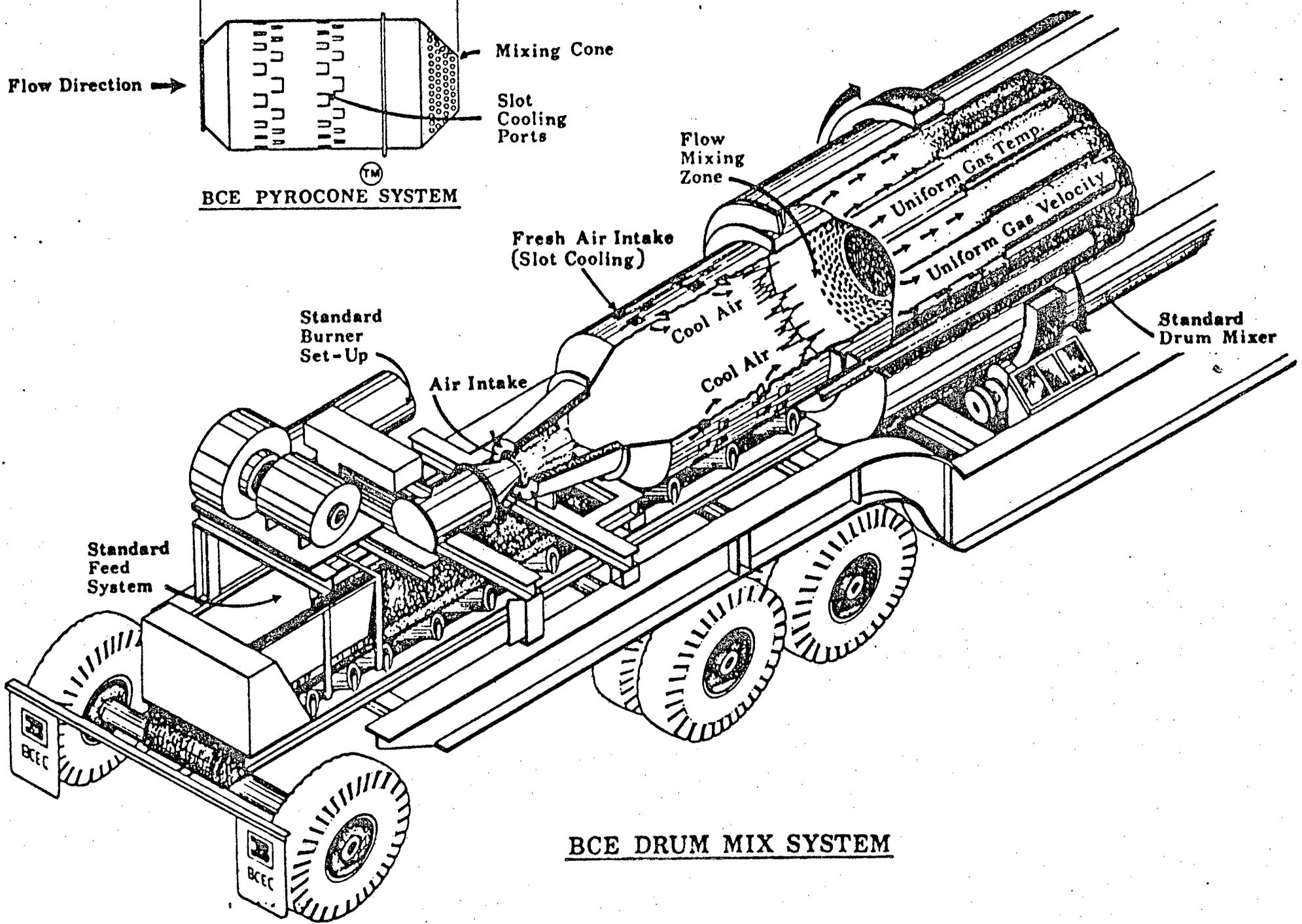


MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24^E ÉTAPE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5A1

Flow Direction →



BCE PYROCONE SYSTEM



BCE DRUM MIX SYSTEM

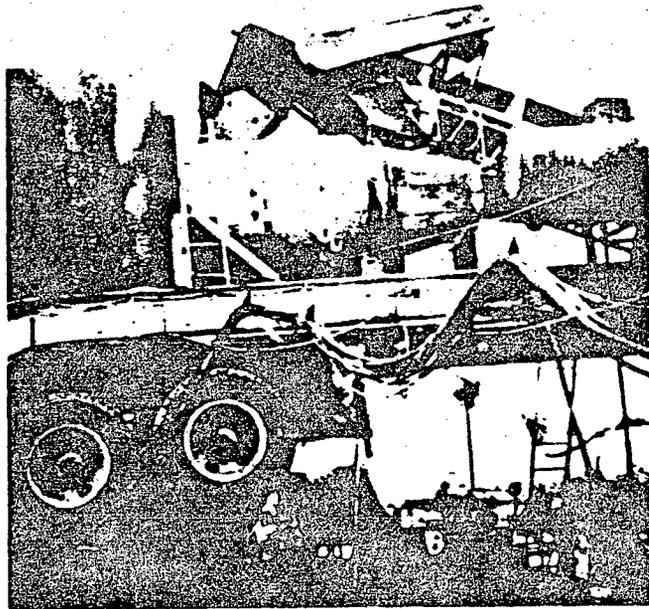
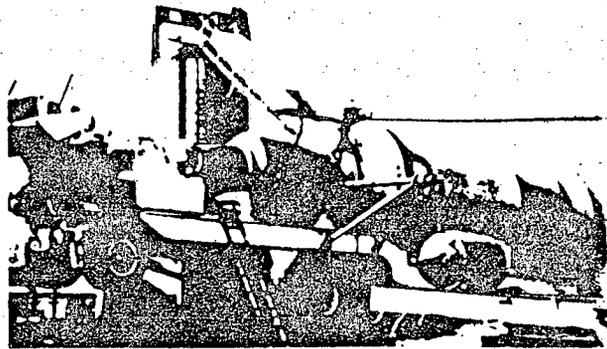
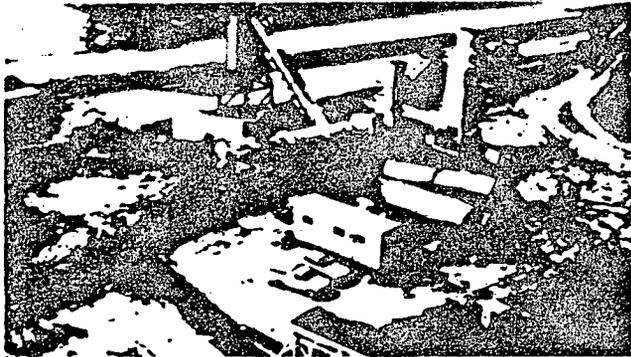


FIGURE # 8

1) Méthode du transfert de chaleur dans le malaxeur (méthode Minnesota)

Pendant que le granulat vierge est surchauffé dans le tambour-sécheur, on alimente la trémie de pesée avec les morceaux du revêtement bitumineux récupéré et concassé provenant des réserves. Le granulat vierge surchauffé transmet par contact direct une partie de sa chaleur aux morceaux de revêtement bitumineux récupéré lors de leur rencontre dans le malaxeur. Si on a besoin d'ajouter du bitume et/ou un agent de ramollissement, c'est dans le malaxeur qu'on le fait.

Cette méthode originale de Maplewood Minnesota a été employée depuis, en plusieurs endroits, avec succès (50).

Cette méthode a l'avantage d'éviter la fumée bleue, source de pollution et les problèmes dus à l'accumulation des matériaux si le revêtement bitumineux récupéré avait à passer à travers le tambour-sécheur, sur l'élévateur et les tamis.

Le nouveau granulat passant à travers le tambour-sécheur a été chauffé à des températures variant de 230° à 260°C. La rencontre des deux constituants, granulat vierge et vieux revêtement à la température de la réserve, montre après le malaxage, pour un mélange dans la proportion 50/50 une température de l'ordre de 120° à 135°C. Les figures # 5 et 6 illustrent bien le procédé ainsi que le transfert de chaleur.

Si la teneur en humidité du revêtement bitumineux récupéré provenant des réserves est élevée, cela entraîne une chute de température du mélange recyclé, réduit le pourcentage de revêtement

récupéré à employer, crée aussi l'émulsion d'un mélange de vapeur d'eau et de poussière dans le voisinage du compartiment de la pesée, d'où l'extrême importance de protéger les réserves de revêtement récupéré contre les mauvais éléments climatiques. On doit éviter d'endommager les collecteurs de poussière (sacs en textile) et prendre soin de refroidir le tambour-sécheur convenablement après une exposition prolongée à la haute température.

On peut utiliser cette méthode pour le recyclage des revêtements bitumineux en se servant d'une centrale conventionnelle, alors le principal désavantage c'est que le pourcentage maximum de revêtement bitumineux récupéré qui pourrait être utilisé serait de l'ordre de 50%.

La seule façon d'améliorer le pourcentage de revêtement récupéré dans le mélange recyclé serait d'employer une méthode de pré-chauffage du revêtement récupéré avant de l'introduire dans le compartiment de la pesée.

Ce pré-chauffage du matériau bitumineux récupéré devrait être fait sans émission de fumée, une telle méthode n'existe pas actuellement autre que celle de procéder au recyclage sur le revêtement récupéré encore chaud provenant de l'opération planage à chaud.

2) Méthode de transfert de chaleur par la flamme et les gaz de combustion.

On introduit le revêtement bitumineux récupéré avec les nouveaux granulats et le bitume ensemble dans le tambour-sécheur malaxeur. En introduisant un courant d'air frais, avec les matériaux et dans les proportions décrites ci-dessus dans le tambour-sécheur et en

utilisant le revêtement bitumineux récupéré concassé sec et, en mélangeant adéquatement cet air frais avec les gaz de combustion engendrés par le brûleur, on a été capable d'obtenir une production de 70% de matériaux bitumineux recyclés sans qu'il y ait d'émission de fumée bleue. La figure # 7 montre de façon schématique cette méthode.

On croit qu'au delà de 75% des émissions de fumée bleue proviendraient de la cheminée de la centrale, ce qui nécessiterait un collecteur spécial pour contrôler ces émissions, ou une diminution importante de la production horaire. Les recherches concernant ce collecteur sont en cours et on espère l'utiliser prochainement. Par ailleurs, dans les usines de type Boeing, en rajoutant de l'eau sur le matériau entrant dans le tambour-sécheur, il est possible de recycler jusqu'à 100% du matériau, si l'on diminue la production horaire suffisamment.

La correction du mélange à recycler est dans le seul facteur qui limite les proportions du revêtement bitumineux récupéré à incorporer dans le produit recyclé.

Les problèmes majeurs dans ce genre de recyclage sont causés par les émissions de fumée bleue provenant de la portion de bitume contenue dans le revêtement bitumineux récupéré et aussi par l'accumulation de matériaux en certains endroits des surfaces métalliques.

Cette accumulation des matériaux est une combinaison du bitume résiduel et des particules fines passant au tamis # 200, des deux substances à fusionner. Ceci ne semble pas se produire dans la transformation des revêtements normaux mélangés à chaud. Le traitement de revêtement contenant des bitumes à pénétration élevée demande un soin particulier. Cependant, des améliorations récentes dans les tambours-sécheurs-malaxeurs ont quasi éliminé ce problème d'accumulation de matériaux et permettent un recyclage

à 100% à condition d'ajouter de l'eau sur le matériau entrant dans le tambour-sécheur et de réduire un peu la production.

3) Méthode mixte

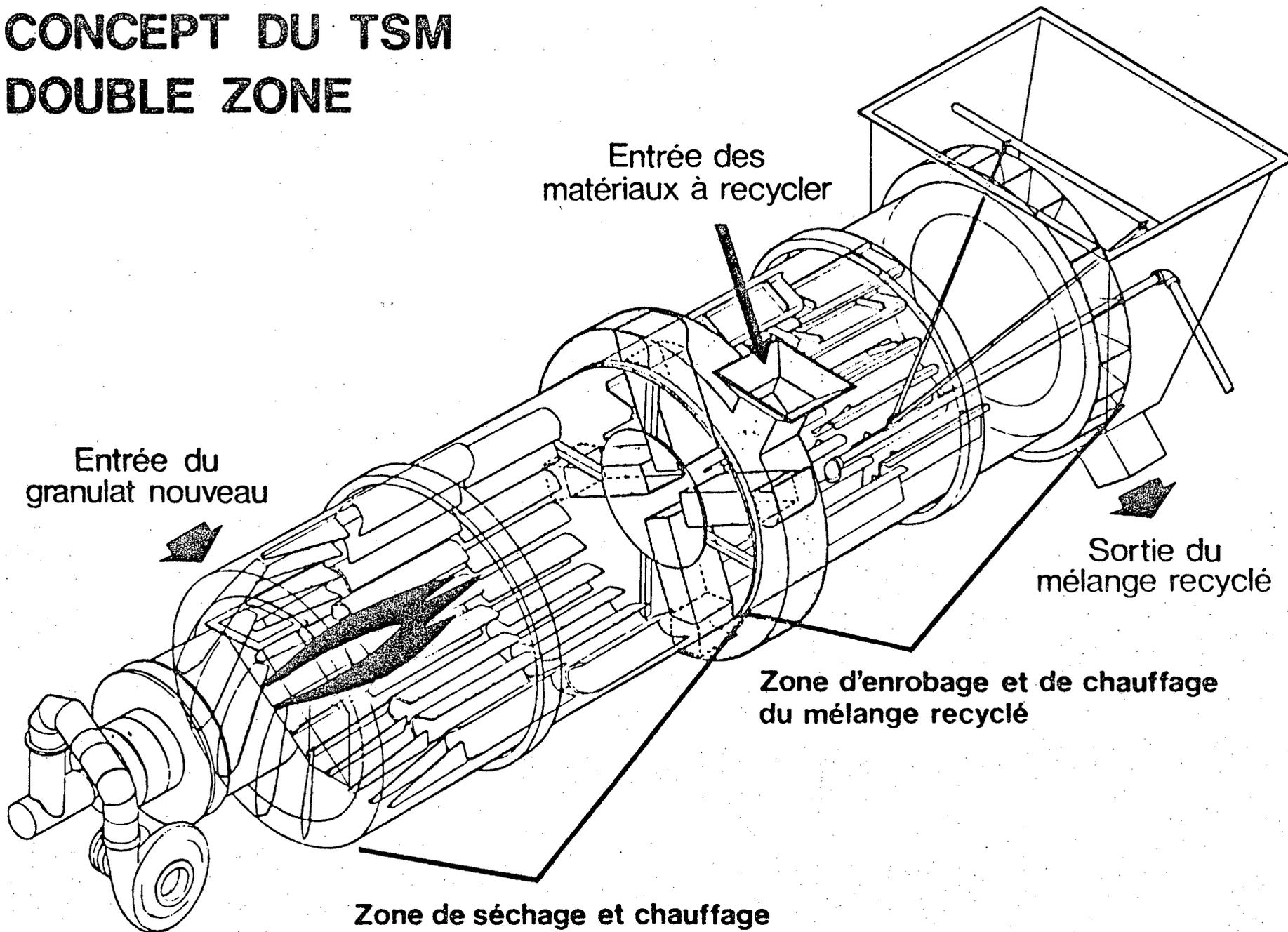
Les usines utilisant le transfert de chaleur par le granulat vierge et la chaleur du gaz de combustion sont celles qui peuvent recycler selon cette méthode. Ces usines sont du type tambour-sécheur-malaxeur et diffèrent du Boeing par le fait que le granulat sert d'écran de chaleur pour empêcher que la flamme et des gaz trop chauds viennent en contact avec le bitume. Aussi, l'introduction du bitume et du mélange bitumineux à recycler se réalise dans la seconde moitié du tambour où se fait également le malaxage, ce qui est très bien illustré par les figures # 9, 10, 11 et 15.

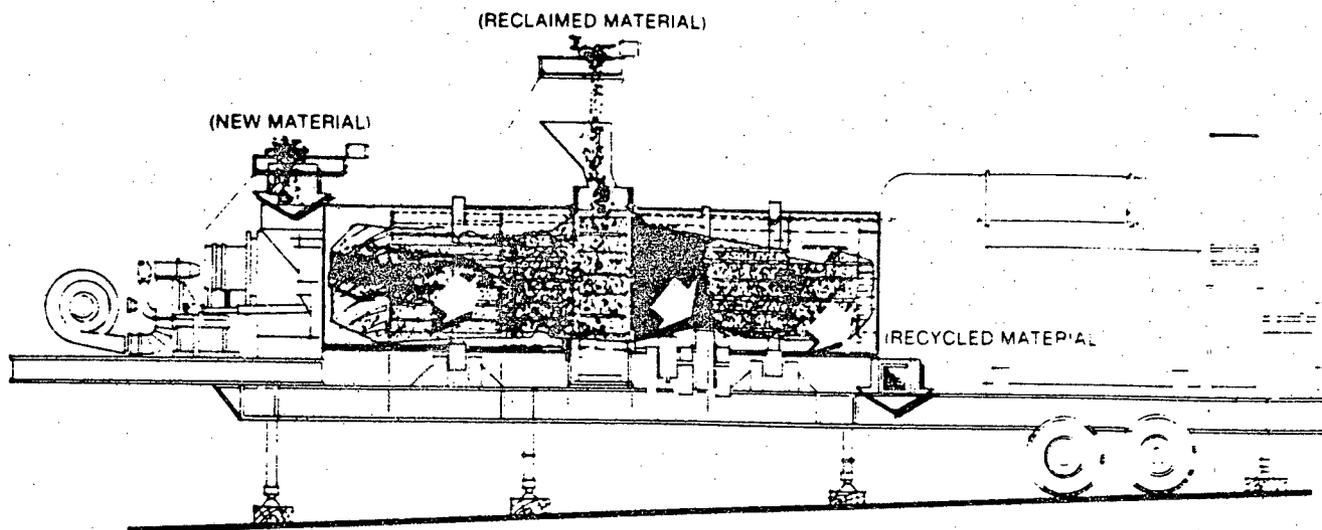
Plusieurs firmes fabriquent ce genre d'usine. Les plus importantes sont: Barber-Greene, C.M.I. et Standard Havens. Par ailleurs, Cedarapids a également une usine qui peut accomplir le même type de recyclage, mais elle diffère légèrement par le fait que c'est un tambour concentrique qui permet d'amener le vieux revêtement concassé dans la seconde partie du tambour-sécheur-malaxeur. Les figures 14 et 14a le montrent bien.

Le désavantage de ce procédé mixte c'est qu'il est extrêmement difficile de recycler plus de 70% de matériaux bitumineux. Cependant à 70% et moins, il n'y a pratiquement aucune baisse de production horaire.

CONCEPT DU TSM DOUBLE ZONE

FIGURE 9



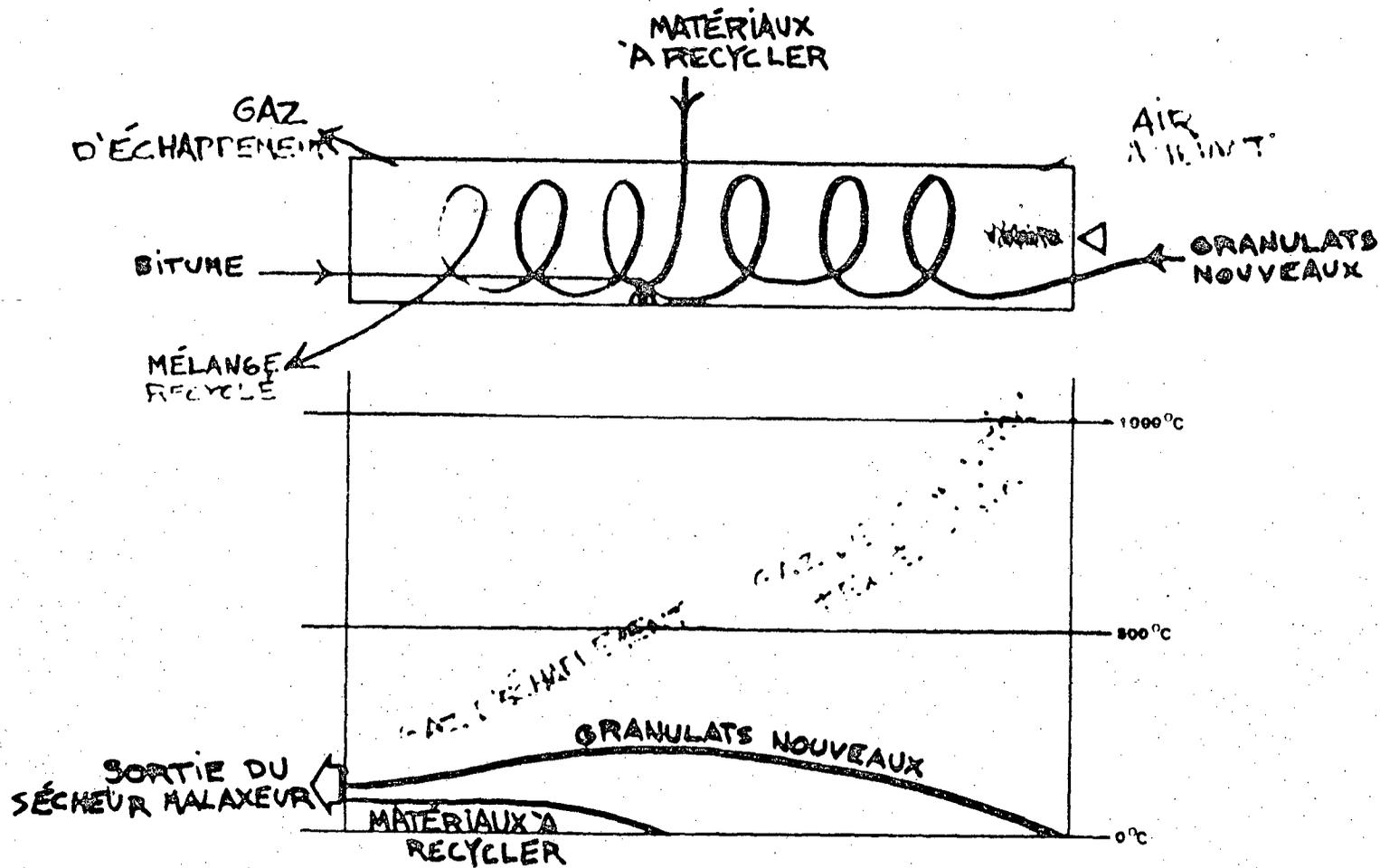


THE CMI Roto-Cycler's basics are explained in this material flow diagram.



FIGURE # 10 - T.S.M. C.M.I.

POSTE TSM À DOUBLE ZONE



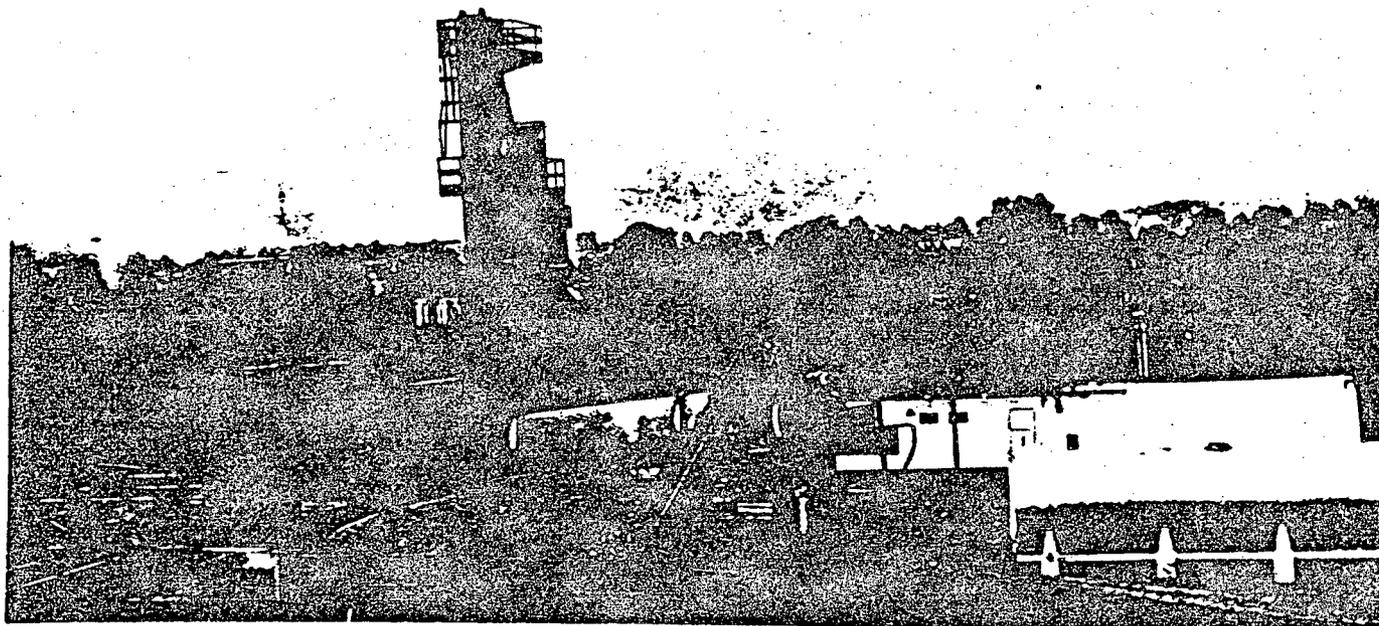


FIGURE # 12 - T.S.M. - BARBER GREENE

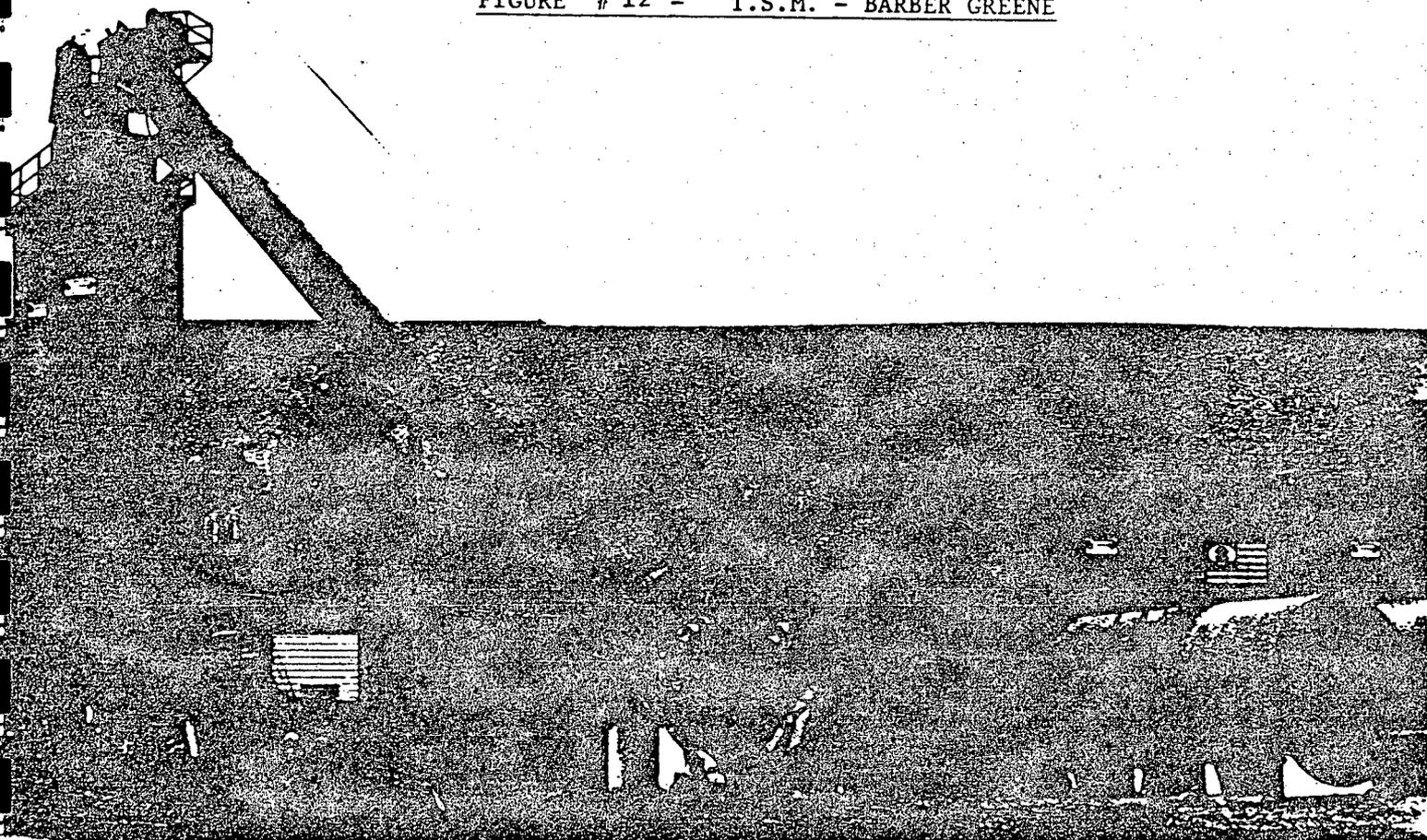


FIGURE # 13 - T.S.M. - STANDARD HAVENS

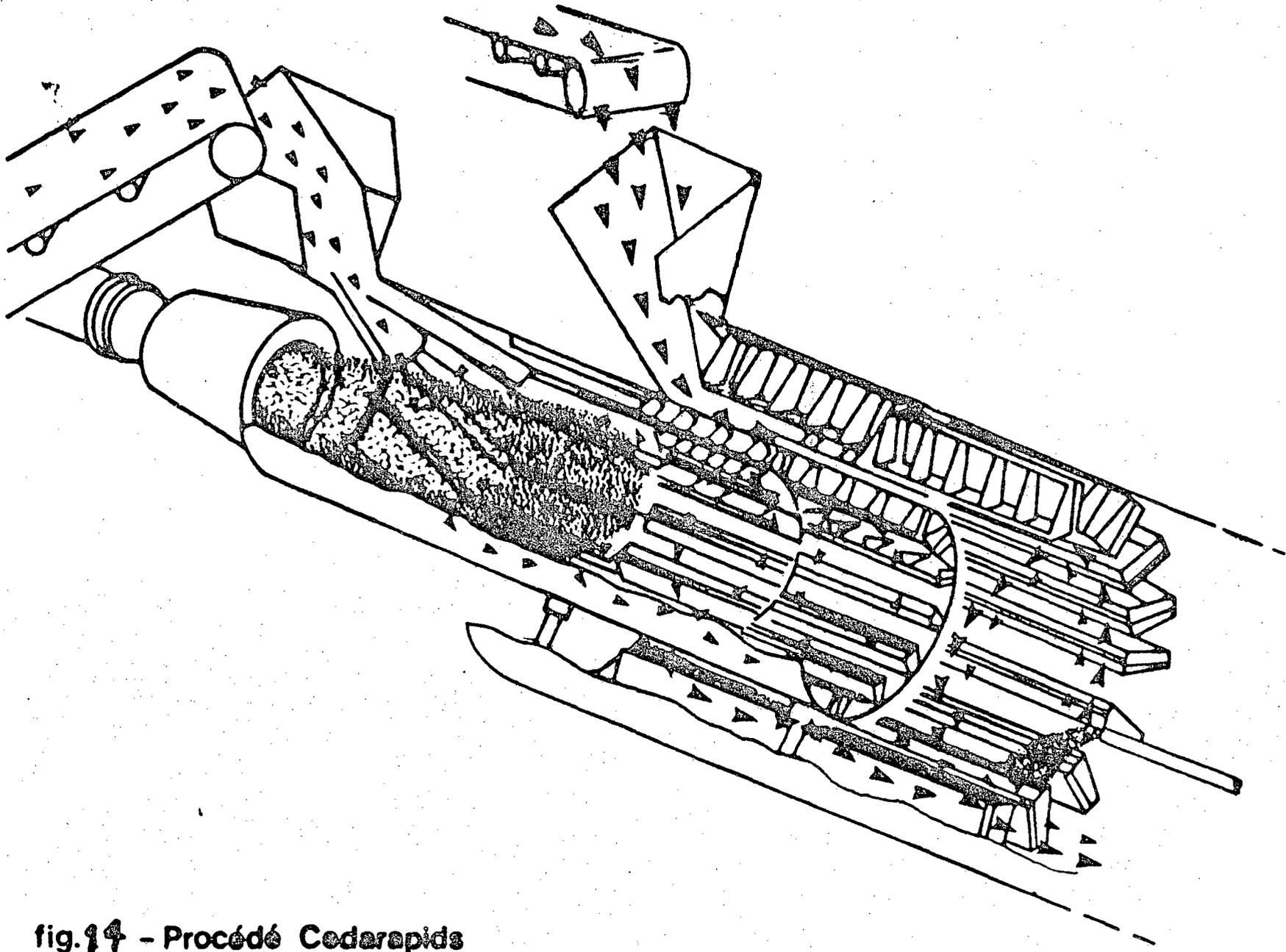


fig. 14 - Procédé Cedarapids

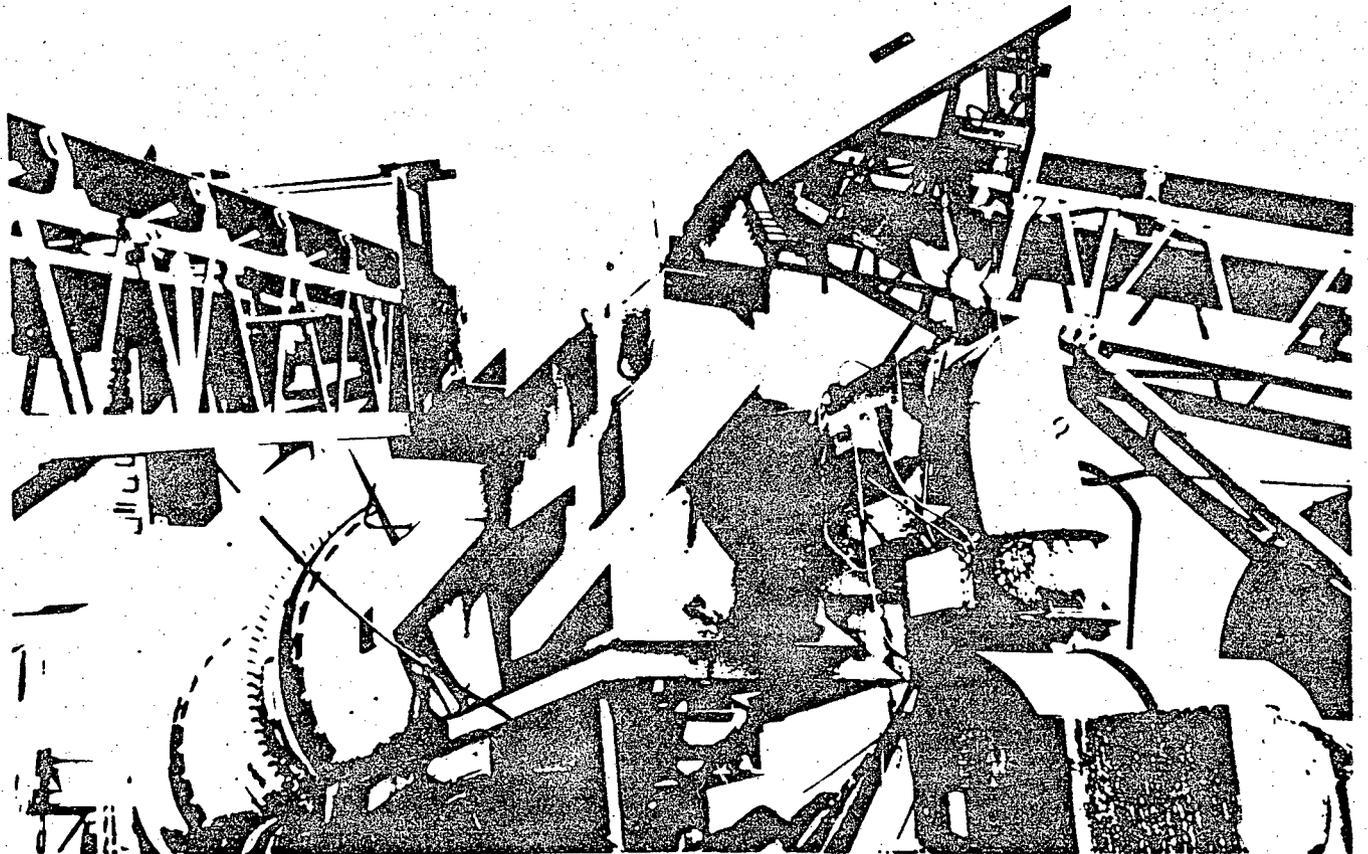
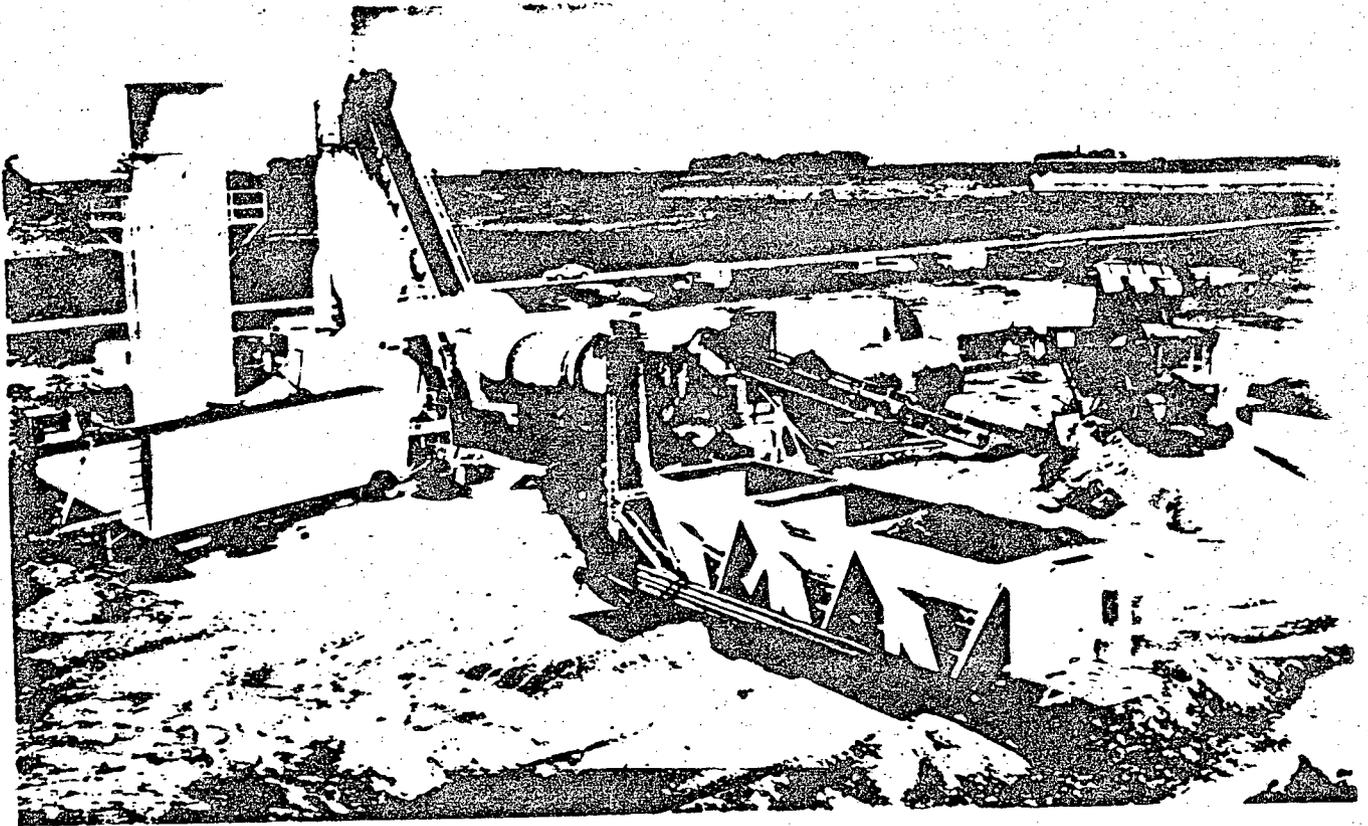


Figure 14a usine TSM Cedarapids

POSTE TMS À DOUBLE ZONE AVEC ADDITION D'AIR AMBIANT

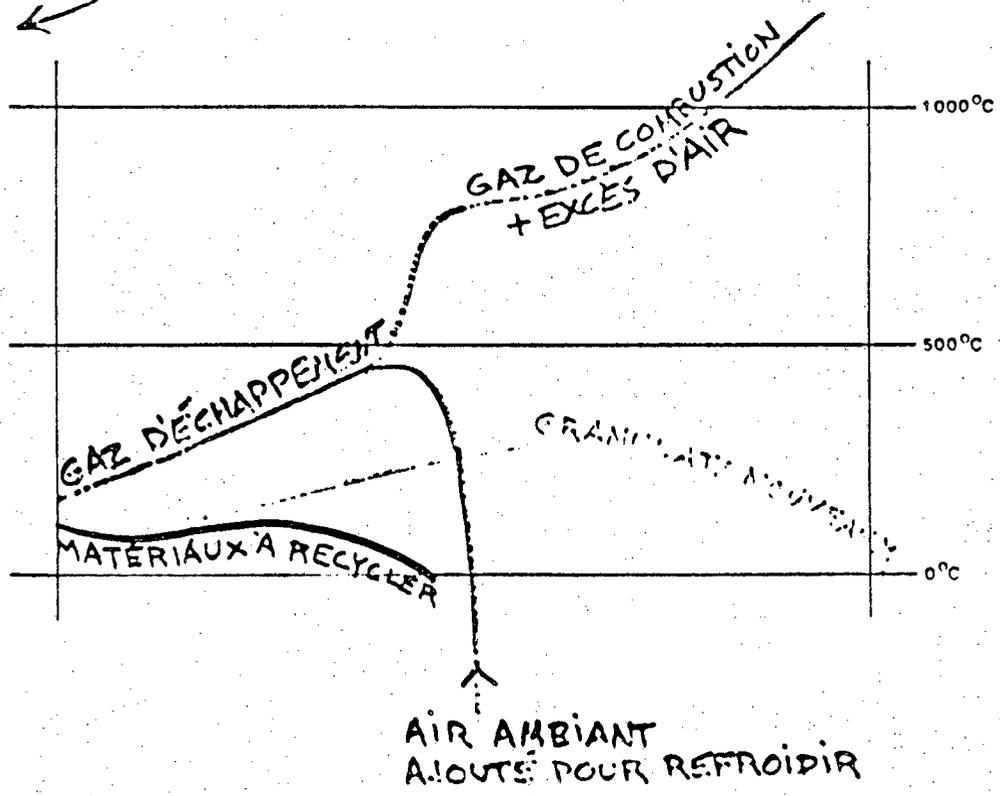
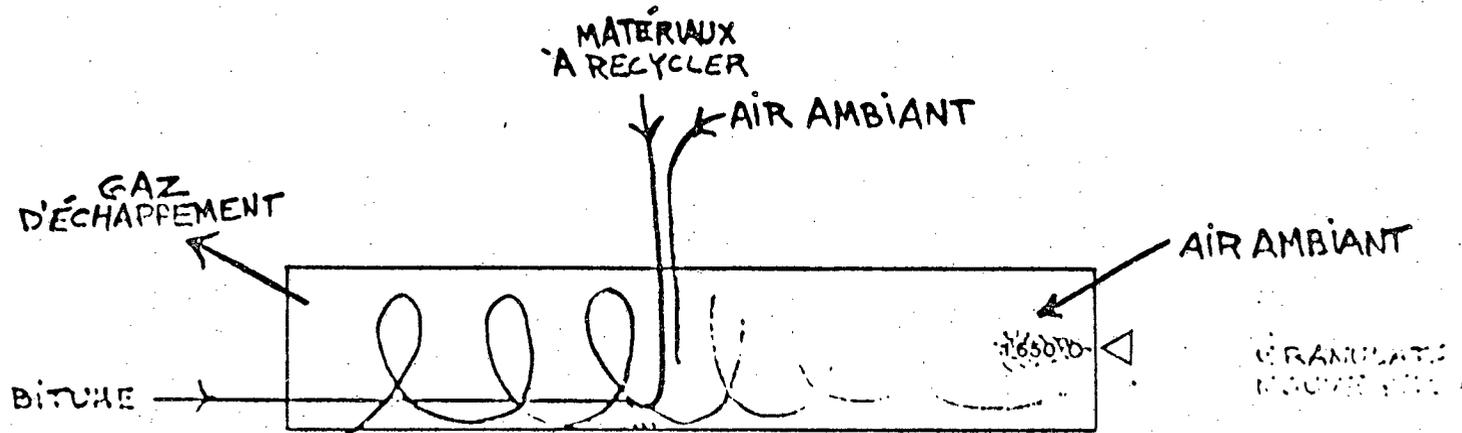


FIGURE # 15

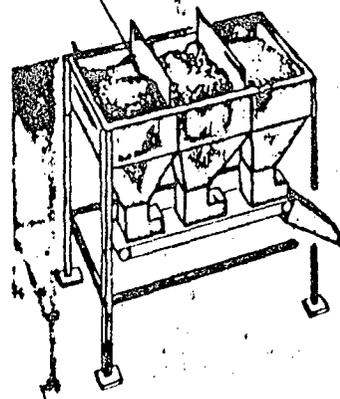
Au Québec, 133 usines différentes fabriquent le béton bitumineux. Ces usines comprennent 124 de type conventionnel (107 à fournée, 17 continue) et 9 de type TSM (tambour sécheur malaxeur). Parmi ces dernières, 7 sont de type Boeing et peuvent réaliser le recyclage selon la méthode décrite (transfert de chaleur par la flamme et les gaz de combustion). Les deux (2) autres TSM (Standard Havens, Baber Green) peuvent faire du recyclage selon la méthode mixte.

Déjà plus de 65,000 tonnes de recyclage ont été réalisées par des usines Boeing et plus de 2000 tonnes par des usines conventionnelles à fournée. La performance de ces revêtements est à date excellente, c'est-à-dire au moins comparable à du béton bitumineux conventionnel.

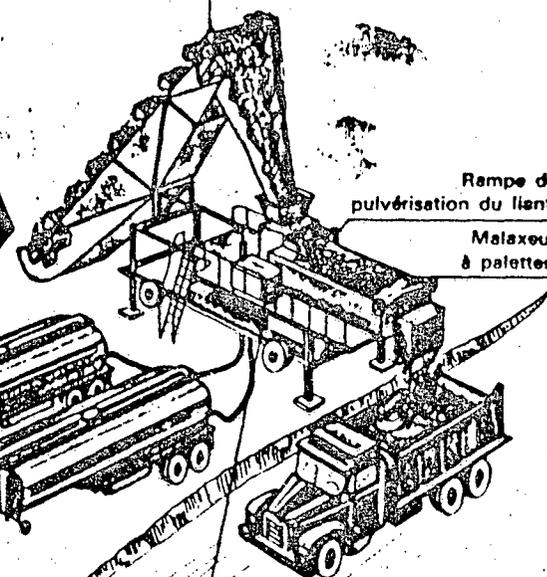
En outre, le recyclage en centrale peut être réalisé à froid avec un bitume liquide ou une émulsion et une centrale de malaxage telle qu'illustrée aux figures 20 et 21. Plus de 7000 tonnes ont été recyclées de cette façon par le district de Sherbrooke et les résultats semblent prometteurs malgré certains problèmes d'instabilité.

SCHÉMA D'UNE CENTRALE D'ENROBAGE A FROID

Trémie de réception et de triage des granulats



Élévateur froid.



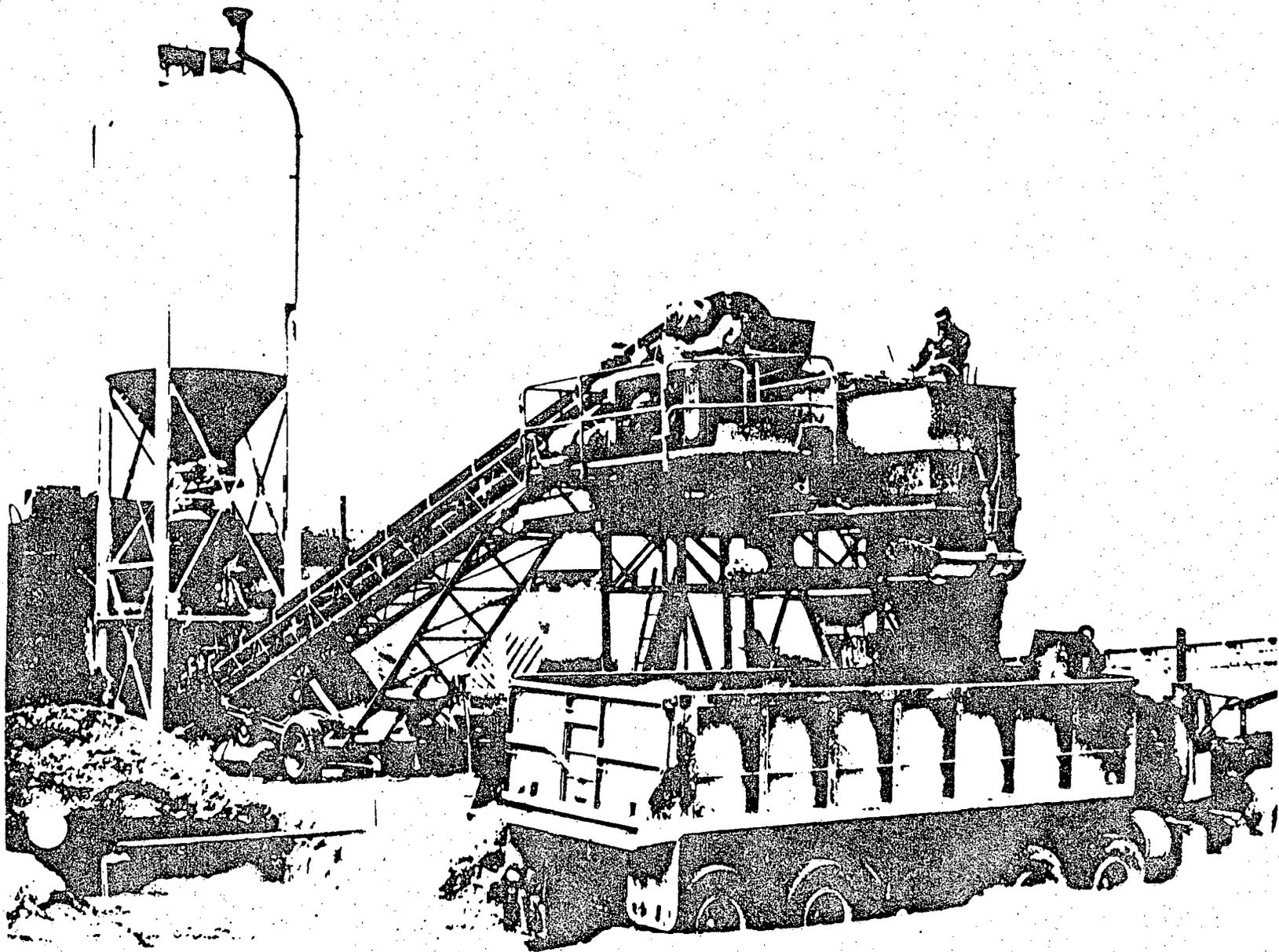
Remorque de pulvérisation du liant.
Malaxeur à palettes.

Remorques-citernes d'émulsion.

Réservoir d'émulsion du malaxeur.

Figure 20 Centrale d'enrobage pour recyclage à froid.

Figure 21 Centrale Barber Green utilisée pour le recyclage à froid



IV PROCESSUS A SUIVRE POUR LA PREPARATION D'UN PROJET DE RECYCLAGE DE PAVAGES BITUMINEUX

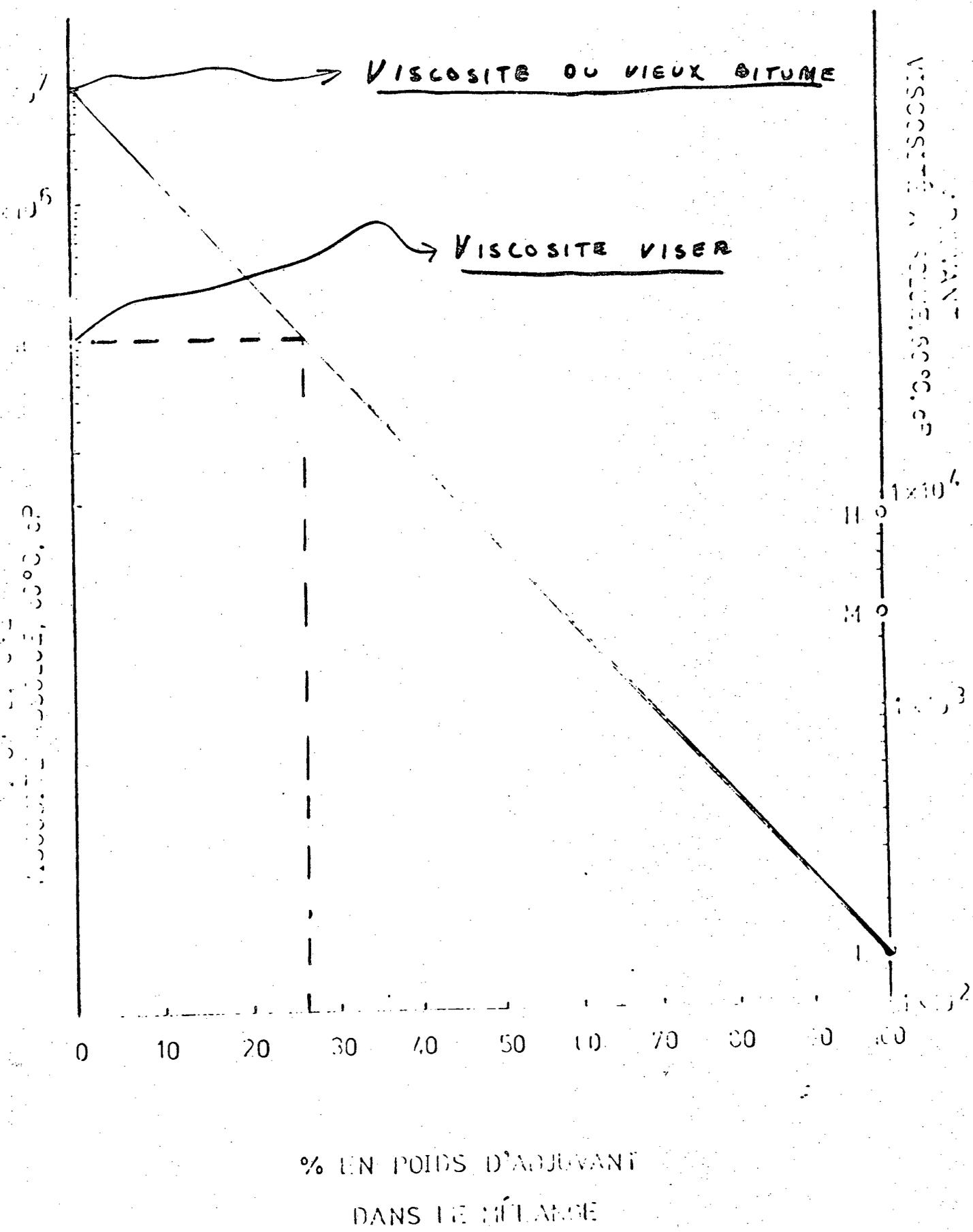
Les étapes suivantes fournissent, sans entrer trop dans les détails, un guide à suivre pour exécuter un projet de recyclage.

- 1) Connaître les exigences imposées par le nouveau projet de réparation ou de construction de pavage bitumineux.
- 2) Faire effectuer sur des échantillons représentatifs du vieux pavage, par un laboratoire spécialisé, les analyses et essais permettant de fournir les informations suivantes:
 - A) la teneur en bitume
 - B) la granulométrie
 - C) la consistance du bitume
 - D) la demande en bitume et en autres agents chimiques nécessaires.
- 3) Etablir les déficiences de ce matériau et la raison de la détérioration du pavage.
- 4) Décider si un agent de recyclage doit être employé, lequel, combien et comment.
- 5) Prédire les effets prévisibles.
- 6) Ajuster avec un peu d'expérimentation (planche d'essais) sur le chantier et une dose de bon jugement les dosages définitifs et les modes finaux d'opération.

Pour décider quel agent doit être employé, une étude est nécessaire. Les recherches concernant l'usage d'une proportion minimum d'un "modificateur" sur un bitume à régénérer pour lui redonner ses propriétés originales ou mieux, ont conduit aux recommandations des spécifications suivantes:

- 1) Le point éclair d'un modificateur devant agir sur un bitume à recycler doit être de 200°C au minimum.
- 2) La viscosité du modificateur doit être comprise dans le fuseau 90 à 300 centipoises à 60°C.
- 3) Pour redisperser les asphaltènes, le modificateur doit contenir au moins 9% de composés polaires et 60% de composés aromatiques.
- 4) La proportion d'un agent modificateur pour ramollir un bitume jusqu'à une viscosité prédéterminée peut être calculée (ou "approximée") en utilisant les figures 16 et 17 tirées de la référence 38.

Le tableau II résume le processus suivi au Québec pour la conception d'un projet de recyclage. Le schéma d'une étude complète est très bien illustré par les figures 18 et 19 tirées du bulletin de liaison #105 du LCPC.



% EN POIDS D'ADJUVANT
DANS LE MELANGE

FIGURE 16

ESTIMATION DE LA PÉNÉTRATION
DU BITUME RESIDUEL

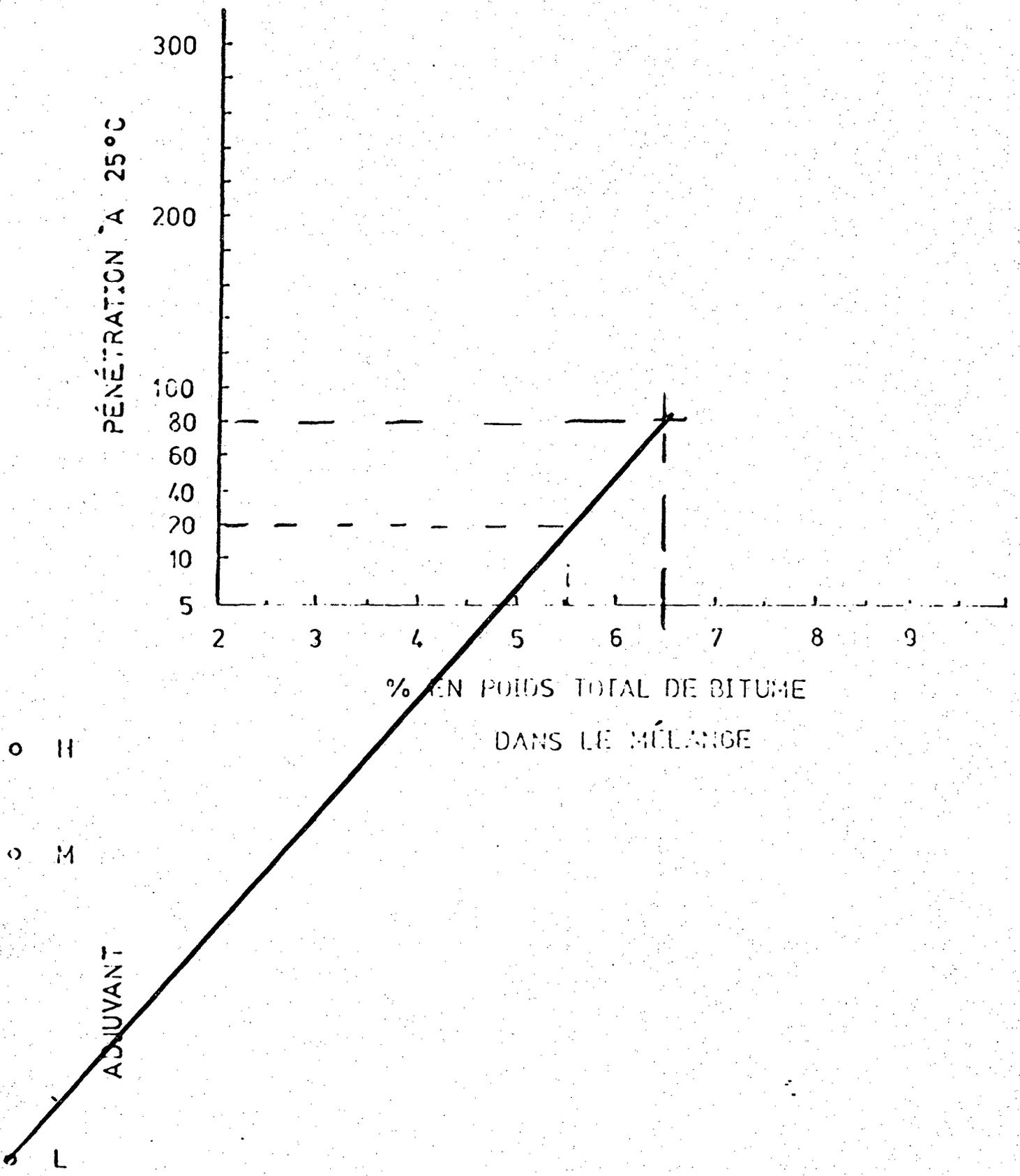


FIGURE 17

TABLEAU II

PROCESSUS A SUIVRE POUR LA CONCEPTION
D'UN PROJET DE RECYCLAGE

- 1) Evaluer la capacité portante de la route et déterminer les caractéristiques d'épaisseur de la nouvelle route
 - 2) Evaluer les caractéristiques du vieux revêtement
 - a) Analyse des données de contrôle lors de la construction si disponibles
 - b) Prélèvement d'échantillons et analyse en laboratoire pour connaître:
 - teneur en bitume
 - granulométrie
 - consistance du bitume
- { Pénétration
viscosité
- 3) Conception des nouveaux mélanges
 - a) Détermination du type de bitume
 - b) Quantité et qualité du nouveau granulat
 - c) Type et quantité d'agent ramollissant
 - 4) Ajustement sur le chantier des proportions définitives

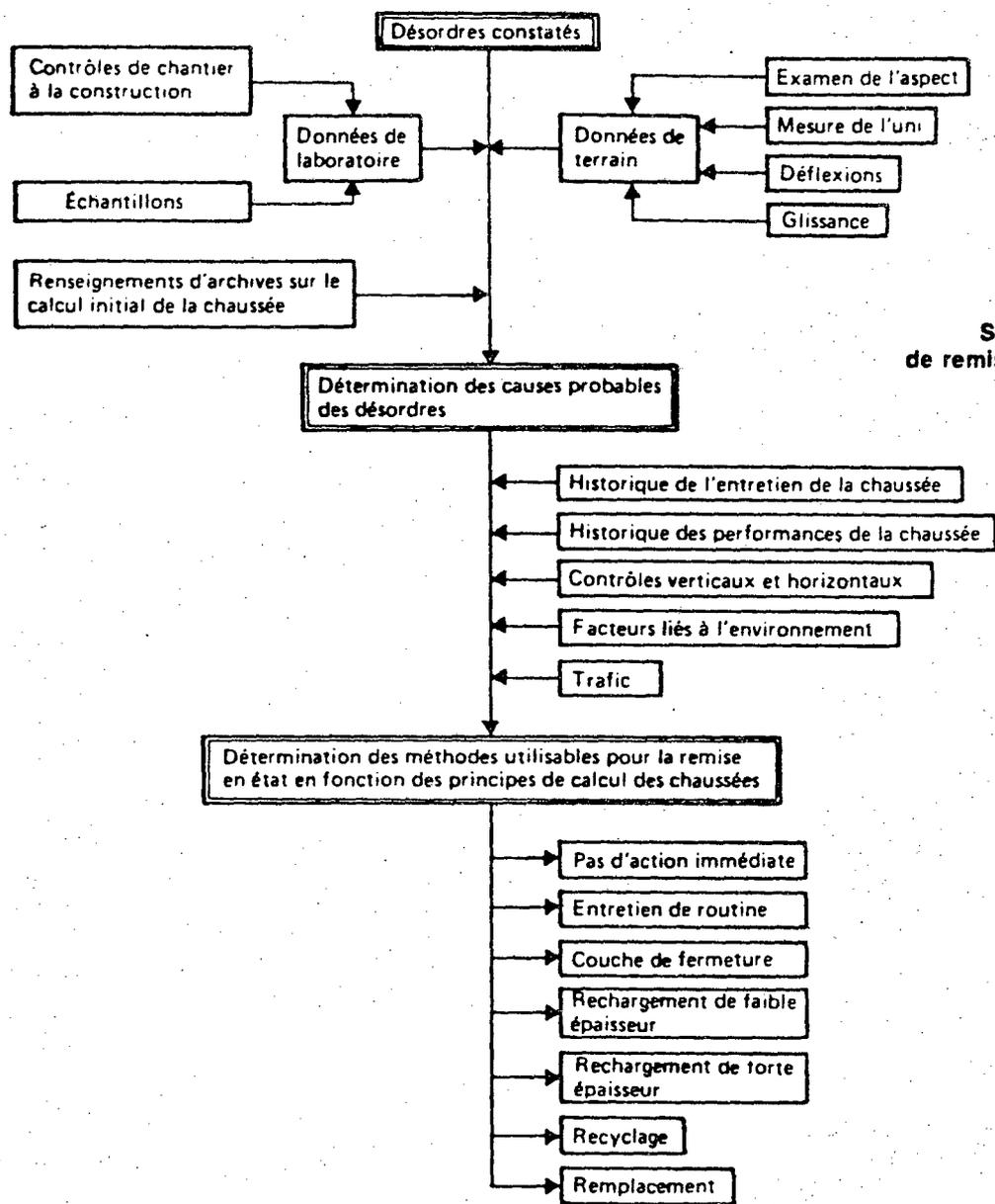


TABLEAU I
Schéma type d'étude
de remise en état d'une chaussée

Figure 18 Schéma d'une étude complète d'une chaussée à recycler
(LCPC, bulletin de liaison #105).

TABLEAU II
Schéma type de détermination
du procédé de recyclage à envisager

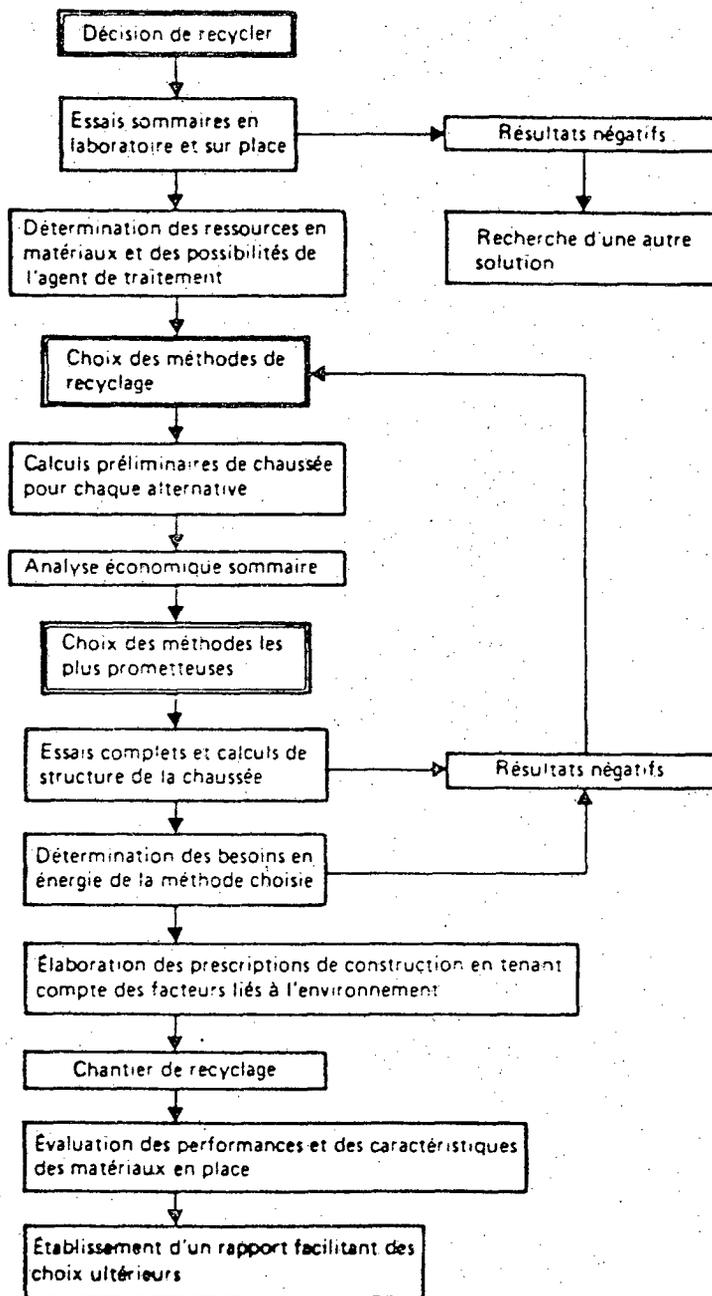


Figure 19 Schéma d'une étude de recyclage
(LCPC, bulletin de liaison #105)

V AVANTAGES DU RECYCLAGE

Les avantages du recyclage sont multiples. Ils sont résumés de façon schématique dans le tableau III.

Les deux (2) plus grands avantages sont sans doute la conservation des sources de granulat et la protection de l'environnement qui en découlent. En effet, en utilisant des matériaux qui sont déjà en route et en les stabilisant on économise dans un design conventionnel pour chaque millimètre, deux millimètres de pierre concassée nouvelle. Par ailleurs, si dans la nouvelle construction, le revêtement bitumineux recyclé est pour plus de 75% de la capacité de support de toute la structure de la chaussée, on peut alors utiliser un design moins conservateur et chaque millimètre de vieux revêtement recyclé à chaud en centrale équivaut à trois (3) millimètres de pierre concassée. Le tableau IV montre les équivalences d'un design conventionnel où les valeurs pour le béton bitumineux et la stabilisation peuvent être augmentées de 1 pouce dans un design dit de BB pleine épaisseur (full depth asphalt).

De plus, la qualité du mélange bitumineux recyclé est au moins égale au mélange bitumineux conventionnel. En effet, dans le cas du recyclé, l'absorption du bitume pas en granulats est complétée pour la majeure partie des granulats, et le bitume recyclé, avec agent rajeunissant ou non, vieillit moins vite que le bitume neuf. Pour ces deux (2) raisons le mélange bitumineux recyclé devrait posséder une durabilité supérieure.

L'économie monétaire réalisé par le recyclage n'est toujours apparente elle dépend souvent de la distance de transports des matériaux et du prix du bitume. La fabrication et la pose du béton bitumineux recyclé coûte le même prix que le béton bitumineux conventionnel; la différence de coût provient du coût des granulats et du bitume. L'annexe A fournit une idée globale des différents coûts impliqués dans le calcul de l'économie d'un projet de recyclage.

TABLEAU III

AVANTAGES DU RECYCLAGE

1) ECONOMIE

- a) argent { jusqu'à \$4.50/tonne (\$3.10/tonne
à Val-Barrette - Route 311)
- b) granulat
- c) bitume
- d) énergie

2) QUALITE SUPERIEURE

- absorption moindre du bitume par les granulats
- oxydation moins rapide du bitume

3) PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

4) CONSERVATION DES SOURCES DE GRANULAT

5) SEULE SOLUTION DURABLE DANS CERTAINS CAS

TABLEAU IV

<p>NORMES</p>	3.3.
	NO
	3
	PAGE
	76-11-
	DATE

3.3.1.3.- Équivalence structurale

Pour établir une structure de route, divers facteurs doivent être considérés tels que la catégorie de la route, sa vocation, son volume de trafic lourd, la topographie du terrain, la nature des sols en place, le niveau de la table d'eau, et finalement la disponibilité des matériaux d'emprunt dans une région. Toutefois, en première approximation, on peut se servir du critère de design suivant:

<u>Catégorie de routes</u>	<u>Équivalence en pierre</u>
Autoroutes	35" - 40"
Routes provinciales	30" - 35"
Routes régionales	25" - 30"
Routes locales	20" - 25"

Pour obtenir l'équivalence en pierre, il existe des corrélations entre les matériaux et qui sont:

<u>Matériaux</u>	<u>Équivalence en pierre</u>
1 po de béton de ciment (dalle supérieure à 6 po d'épaisseur)	= 4 po de pierre
1 po de béton bitumineux	= 2 po de pierre
1 po de sol-ciment	= 1.5 po de pierre (stabilisation sur 6 po ou moins)
1 po de sol-ciment	= 2 po de pierre (stabilisation supérieure à 6 po)
1 po de sol bitume	= 1.7 po de pierre
1 po de sol chaux	= 0.7 po de pierre
1 po de gravier	= 0.8 po de pierre
1 po de sable	= 0.4 po de pierre

VI CONCLUSION

Les revêtements bitumineux recyclés diffèrent de ceux produits avec des matériaux vierges, en ce qu'ils ne semblent pas vieillir aussi vite et semblent plus résistants à l'usage. Les mélanges recyclés semblent démontrer une augmentation de viscosité avec le temps, d'un rythme inférieur à celui démontré par les mélanges préparés à partir de matériaux vierges. Le bitume recyclé avec emploi d'agent modificateur durcit moins vite que le bitume vierge. Les avantages du recyclage sont résumés dans le tableau III.

Plusieurs chercheurs qui ont eu à travailler fréquemment avec des bitumes recyclés ont constaté que ces bitumes, s'ils sont mélangés avec suffisamment d'agents modificateurs aromatiques, répondent essentiellement à toutes les exigences des spécifications pour le bitume vierge.

Pour recycler un revêtement bitumineux et le réutiliser dans la partie supérieure d'un nouveau revêtement bitumineux, soit dans la couche de liaison, soit surtout dans la couche de surface, il vaut mieux employer le procédé de recyclage à chaud en centrale avec addition soit de granulats, soit de bitume, soit d'un agent modificateur. Le produit bitumineux fini doit être au moins aussi fort, aussi uniforme que le matériau déplacé de la couche originale s'il joue le même rôle.

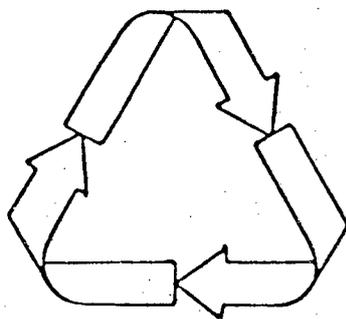
Advenant que le produit bitumineux recyclé soit appelé à jouer un rôle supérieur, on doit lui fournir les éléments nécessaires soit par l'addition d'autres matériaux (granulats, bitume y compris possiblement l'emploi d'agent de régénération) et soumettre le tout à une technologie plus évoluée ou raffinée.

Le recyclage à froid en place convient surtout pour les matériaux devant être utilisés dans la couche de base des routes principales et dans les couches de surface des routes très secondaires.

Nous croyons que tous ceux qui construisent ou entretiennent des routes ou des rues trouveraient déjà un avantage économique à employer la méthode du recyclage à chaud sur plusieurs projets de travaux de réfection routière. En plus de l'item économie, les matériaux vierges devenant plus rares, la crise énergétique plus astreignante, les utilisateurs possibles, plus avertis et exigeants du côté conception et contrôle, feront un accueil favorable à ce nouveau mode de réfection des revêtements bitumineux âgés ou détériorés par l'usure. Cependant, ils devront tenir compte des exigences tant de la méthode de récupération énumérée au tableau V que de la méthode de fabrication du tableau VI s'ils veulent s'assurer des avantages du recyclage.

Le ministère des Transports du Québec, pionnier dans le recyclage des revêtements bitumineux au Canada, a déjà sorti un guide pour le recyclage des vieux revêtements bitumineux. L'annexe B présente ce guide.

TABLEAU V

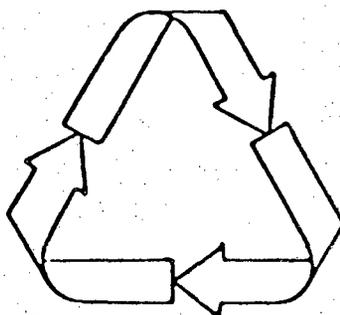


EXIGENCES

DANS LA METHODE DE RECUPERATION, ON DOIT:

1. PREVOIR LE PROFIL SPECIFIQUE ET LA PENTE.
2. REQUIRE LE MATERIEL A LA GROSSEUR DESIREE, SANS DEGRADATION EXCESSIVE.
3. RENCONTRE LES NORMES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.
4. LAISSER UNE SURFACE ACCEPTABLE A LA CIRCULATION.
5. QU'IL Y A LIEU DE LE FAIRE, TAILLER LE BETON SITOMIEUX ET LE BETON DE CIMENT.

TABLEAU VI



EXIGENCES

LORS DU PROCEDE DE PRODUCTION ET DE MALAXAGE, ON DOIT:

1. PRODUIRE UN MELANGE A CHAUD AYANT LES PROPRIETES DESIREES PAR:
 - A) LE RETABLISSEMENT DES PROPRIETES DU BITUME
 - B) LA CORRECTION DE LA GRAVILOMETRIE
2. RENCONTRER LES NORMES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.
3. FABRIQUER A GRANDE ECHELLE DES PROPORTIONS NOUVEAU/VIEUX MATERIEL.
4. UTILISER L'EQUIPEMENT DISPONIBLE AVEC UN MINIMUM DE MODIFICATION.

REFERENCES

1. Langlois, R., "Influence de la Température de Malaxage sur les Propriétés du Bitume et des Mélanges Bitumineux".
2. Day, D.T., "Asphalt Surface Reclamation with an Emulsion Stabilized Base". C.T.A.A. Halifax, Oct. 1967.
3. Zaikoff, P., Normand, J., "Stabilisation à l'Emulsion des Anciennes Fondations pour la Réfection d'une Route au Québec". C.T.A.A. Winnipeg Nov. 1970.
4. Zaikoff, P., Tessier, G., Légaré, G.O., "Comportement Structural d'une Route à l'Emulsion au Québec". C.T.A.A. Vancouver, Nov. 1972.
5. Johnston, T.H., "Use of Heater - Scarifier in Pavement Maintenance". International Asphalt Paving Conference, Bermudes, Janvier 1975.
6. Dunning, R.L., Mendenhall, R.L., Tischer, K.K., "Recycling of Asphalt Concrete Description of Process and Test Sections". A.A.P.T., Phoenix, Arizona, Février 1975.
7. Joubert, R.H., "Marthas Vineyard Airport Pavements Reclaimed After Thirty Years Service". Revue Asphalt, Juillet-Octobre 1975.
8. Epps, J.A., "Pavement Recycling in Texas". Proceedings N.A.P.A., Janv. 1976.
9. Henely, R.P., "Hot-Mix Recycling of Asphalt Pavements in Kossuth County, Iowa". Proc. N.A.P.A. Juillet-oct. 1975.
10. Harris, C.D., "Cutler Repave. A New Concept in Pavement Resurfacing". The Journal of the Institution of Highway Engineers. Juillet 1976.
11. Wirtgen, "Allemagne - Plusieurs Chantiers de Resurfaçage". Bitume Actualités". Octobre 1976. No. 59.
12. "Hot Recycling of Asphalt Pavements". Proc. C.T.A.A. Vol. 22. 1977.
13. Davidson, D.D., Canessa, W., Escobar, S.J., "Recycling of Substandard or Deteriorates Asphalt Pavements a Guideline for Design Procedures". A.A.P.T. San-Antonio, Texas. Février 1977.

13. Carmichael, R., Boyer, R.E., D., "Modeling Heater Techniques for in-Place Recycling of Asphalt Pavements". A.A.P.T. San-Antonio, Texas. Février 1977.
14. Kennedy, T.W., Perez, I., "Preliminary Mixture Design Procedure for Recycled Asphalt Materials". A.S.T.M. Décembre 1977.
15. Myers, D.E., "In-Place Recycling/Reconstruction of Flexible Pavements". Proc. C.T.A.A. Nov. 1977.
16. Rand, D.W., "Cold Recycling of Pavement by Hammermill Process Interim Report". Materials and Research Division Technical Paper 77-10. Août 1977.
17. Tompkins, L., "Cold Road Planing". C.T.A.A. Nov. 1977.
18. Dumler, J., Beecroft, G., "Recycling of Asphalt Concrete-Oregon's First Hot Mix Project". Interim Report for FHWA Demonstration Projects Division Contract DOT-FH-15-220. Nov. 1977.
19. Terrel, R.L., Fritchen, D.R., "Laboratory Performance of Recycled Asphalt Concrete". A.S.T.M. St-Louis, Missouri. Déc. 1977.
20. Hughes, C.S., "Problems and Solutions to a Hot Mix Recycling Plant". A.A.P.T. 1978.
21. Sitek, G., "Recycle Update". Illustration de E.M. Heavy Duty Equipment Maintenance. Nov. 1977.
22. Epps, J.A., Little, D.N., O'Neal, R.J., Gallaway, R.J., "Mixture Properties of Recycled Central Plant Materials". A.S.T.M. Symposium. St-Louis Missouri. Déc. 1977.
23. "Procédés de Rabotage et de Régénération des Chaussées". Bitume Actualités No. 63. Déc. 1977.
24. Davidson, D.D., Canessa, W., Escobar, S.J., "The Practical Aspects of Reconstituting Deteriorated Bituminous Pavements". A.S.T.M. St-Louis Missouri. Déc. 1977.

25. Dunning, R.L., Mendenhall, R.L., "Design of Recycled Asphalt Pavements and Selection of Modifiers". A.S.T.M. Symposium. St-Louis, Missouri. Déc. 1977.
26. MCGee, J.A., Judd, A.J., "Recycling of Asphaltic Concrete Arizona's First Project". Arizona Department of Transportation. Janv. 1978.
27. Minor, W.H., "Pavements Surface Restoration and Hot Mix Recycling Practical, Economical et Profitable". C.M.I. Corporation. Oklahoma Janv. 1978.
28. Burgin, E.W., "Heater-Scarifying with Rejuvenation". Rocky Mountain Construction A.C.P. Janv. 1978.
29. Mosey, J.R., DeFoe, J.H., "In-Place Recycling of Asphalt Pavements". 1978.
30. "Future Opportunities Challenge Understanding Success". Proc. N.A.P.A. Atlanta, Gerogia. Fév. 1978.
31. C.M.I. Corporation "C.M.I. Introduces New Hot Mix Recycling System". C.M.I. News. Janvier 1978.
32. C.M.I. Corporation, "Surface Restoration Through Pavement Profiling". C.M.I. News. Janvier 1978.
33. Ladoucette, G., Schuhl, J.C., Belotte, J.Y., Panis, A., "Un Procédé Economique de Réfection des Couches de Roulement en Béton Bitumineux". Routes et Aérodrome. No. 539. Fév. 1978.
34. "Hot Recycling: St-Paul (Marion County), Oregon, Boeing Frum Mixer". NAPA Recycling Report Vol. 2, No. 2. Mars 1978.
35. Barber-Greene, "Barber-Greene Recyclomat System". Illustration de Barber-Greene. 1978.
36. Williams, E.G., "Asphalt Recycling: A Dollar-Stretching Way to Improve Pavement". The Asphalt Institute. Misc. 78-2. Mai 1978.

37. Smith, R.W., "A Summer on Asphalt Pavement Recycling an Update on Asphalt Pavement Recycling". N.A.P.A. Paving Forum. 1978.
38. Witco Chemical, "How Cyclogen Recycles Deteriorated Asphalt Pavements". Illustration de Witco Chemical Corporation - Golden Bear Division. 1978.
39. Canessa, W., "Cyclogen TM for Recycling of Deteriorated Asphalt Pavements Either On-Site or Off-Site". Witco Chemical Corporation - Golden Bear Division. 1978.
40. C.M.I. Corporation, "Roto-Cycler Joins Roto-Mills for First California Hot Mix Recycling". C.M.I. News, Vol. XLIX, No. 3. Oct. 1978.
41. Richardson, N.W., "In-Place Recycling of Asphaltic Concrete Pavement in Saskatchewan Using the Bomag MPH-100 Stabilizer". Saskatchewan Department of Highways and Transportation. Nov. 1978.
42. Desroches, M., Charbonneau, C. "Rapport Final Recyclage de Pavage Contrat No: 776-1912-8". Ministère des Transports, Laboratoire Central, Québec. Déc. 1978.
43. Plourde, P.A., Paquin, J.G., "En Première au Québec - Recyclage des Vieux Revêtements". "Essai de Recyclage District de Mont-Laurier". Ministère des Transports, Service de la Conservation des Routes, Janvier 1979.
44. Samson, J.N., "Un Nouveau Procédé de Recyclage à Chaud des Revêtements Bitumineux". Transports Québec, revue L'Equipe, vol. 8, No. 10. Déc. 78.
45. C.M.I. Corporation, "Pennsylvania Trunpike Profiles Prior to Overlay". C.M.I. News, No. 3. Janv. 1979.
46. Roux, R.A., "Recyclage". L'A.C.R.G.T.Q. Pointe-Claire, Janvier 1979.
47. Van-Deusen, C., "Cold Planing of Asphalt Pavements". A.A.P.T. Fév. 1979.
48. Kari, W.J., Santucci, L.E., Coyne, L.D., "Hot Mix Recycling of Asphalt Pavements". A.A.P.T. Denver, Colorado, Fév. 1979.
49. Jones, G.M., "Recycling of Bituminous Pavements on the Road". A.A.P.T. Denver, Colorado, Fév. 1979.

50. Wolters, R.O., "Bituminous Hot Mix Recycling in Minnesota". A.A.P.T. Denver, Colorado, Fév. 1979.

51. Escobar, S.J., Davidson, D.D., "Role of Recycling Agents in the Restoration of Aged Asphalt Cements". A.A.P.T. Denver, Colorado, Fév. 1979.

52. Betenson, W.B., "Recycling Asphaltic Concrete Pavement". A.A.P.T. Denver, Colorado, Fév. 1979.

ANNEXE A

GUIDE POUR LE RECYCLAGE DES
VIEUX REVÊTEMENTS BITUMINEUX

PRÉFACE

Avant la crise énergétique, très peu de gens étaient préoccupés ou sensibilisés à la récupération du bitume à partir des vieux revêtements.

Le bitume intégré à la tonne du matériau dont il fallait disposer était considéré comme un «handicap» bien plus qu'une valeur récupérable.

C'est ainsi que l'on a vu des revêtements bitumineux de faibles épaisseurs (< 150 mm) servir, une fois fragmentés, à l'érection des remblais alors que d'autres de plus fortes épaisseurs (> 150 mm) étaient mis au rebut; leur résistance à la fragmentation ne permettant pas une intégration facile dans les remblais.

Le temps n'est pas si loin où la valeur des composants d'une tonne d'enrobé bitumineux était sensiblement la même, alors qu'aujourd'hui, la valeur du liant est de 2 à 3 fois celle du granulat.

Cette flambée des coûts, doublée de l'incertitude dans les approvisionnements en bitume ont contribué à sensibiliser un nombre grandissant de gens aux avantages de la réutilisation des vieux revêtements comme matières premières dans la fabrication des mélanges bitumineux.

CONTENU

	PAGE
SECTION 1. LES CHOIX	1
1.1 La mise au rebut	1
1.2 Le recyclage comme matériau de remblai	1
1.3 Le recyclage comme matériau de fondation	1
1.4 La vente	2
1.5 Le recyclage par usinage à chaud	2
1.6 Le recyclage par usinage à froid	3
1.7 Le stockage en vue d'une utilisation ultérieure	3
SECTION 2 L'ÉTUDE PRÉLIMINAIRE	5
2.1 Les caractéristiques du vieux revêtement	5
2.2 La réduction	5
2.3 Le pourcentage recyclable	6
2.4 Les restrictions autres que celles prévues au CCDG	6
2.5 Le système de retenue pour la non-conformité	7
2.6 La fourniture du liant	7
2.7 Le facteur d'équivalence structurale	7
SECTION 3 LES MODES DE RÉDUCTION	9
3.1 La réduction par concassage	9
3.2 La réduction par planage	9
SECTION 4 L'APPEL D'OFFRES	11
4.1 Le recyclage sans usinage	11
4.2 Le recyclage par usinage	11
4.3 L'option de l'entrepreneur	11
4.4 Le pourcentage du vieux revêtement recyclé	12
4.5 Le granulats de correction	12
4.6 La fourniture du liant	12
4.7 Les additifs	12
4.8 Le site d'entreposage	13
TABLEAU I - RECYCLAGE DES VIEUX REVÊTEMENTS	14

1 LES CHOIX

Le concepteur d'un projet de rénovation de chaussée qui doit disposer d'une certaine quantité de vieux revêtement bitumineux peut opter pour l'une ou l'autre des voies suivantes:

- a) la mise au rebut;
- b) le recyclage comme matériau de remblai;
- c) le recyclage comme matériau de fondation;
- d) la vente;
- e) le recyclage par usinage à chaud;
- f) le recyclage par usinage à froid;
- g) le stockage en vue d'une utilisation ultérieure.

1.1 La mise au rebut

La décision de mettre les vieux revêtements au rebut présuppose qu'ils sont jugés inutilisables. Sur le plan technique, un tel jugement est inacceptable car il équivaut à reconnaître la faillite de nos moyens. Sur le plan administratif, un tel jugement peut être acceptable, compte tenu des coûts prohibitifs que sa réutilisation pourrait entraîner.

1.2 Le recyclage comme matériau de remblai

La décision d'utiliser les vieux revêtements comme matériau de remblai peut laisser croire qu'ils remplacent un matériau classifié emprunt classe «B».

Une telle décision n'est pas facilement justifiable considérant que la valeur des vieux revêtements scarifiés et laissés en place sur la route est environ 200 fois la valeur d'achat de l'emprunt classe «B» à la source.

1.3 Le recyclage comme matériau de fondation

La décision d'utiliser les vieux revêtements comme matériau de fondation ennoblit quelque peu ces derniers mais résulte en une perte quasi totale du bitume contenu dans le matériau. En effet, ce dernier n'ajoute rien à la valeur structurale si ce n'est de permettre à un matériau marginal (% de pierre insuffisant) d'être accepté même si la granulométrie ne rencontre pas les exigences du calibre de fondation.

De plus, les vieux revêtements scarifiés et laissés en place valent avant l'opération de concassage, comme matière première de substitution, de 10 à 75 fois la pierre dynamitée ou le gravier naturel à la source.

Bien que plus facilement justifiable, une telle décision est quand même loin d'optimiser l'utilisation qui peut être faite des vieux revêtements.

1.4 La vente

La décision de vendre le vieux revêtement doit être considérée chaque fois qu'une utilisation immédiate s'avère techniquement impossible.

Tout résidu de vieux revêtement, considéré comme tel à la suite de l'exécution d'un contrat de terrassement ou de réhabilitation devrait être inscrit comme item à soumissionner lors de l'appel d'offres. Les caractéristiques recueillies de diverses expertises faites par le ministère des Transports du Québec (MTQ) sont alors inscrites au devis spécial.

Il est bon de rappeler ici que même si, à la limite le prix de vente est annibellé par les coûts de transport aux fins de l'entreposage une telle pratique peut s'avérer avantageuse pour le Québec aux plans de l'économie de l'énergie et de l'auto-suffisance. En effet, le bitume réutilisé n'est plus une matière importée mais un produit local.

1.5 Le recyclage par usinage à chaud

La décision de procéder à un recyclage par usinage à chaud peut être prise dès que la quantité de vieux revêtement est suffisante pour constituer 15% du tonnage du nouveau revêtement nécessaire sur le projet. Il est toutefois avantageux de ne pas recycler une porportion supérieure à 50% du vieux revêtement afin de conserver une compétition plus vaste des divers procédés de fabrication (usine conventionnelle vs usine à tambour-malaxeur) et d'atténuer la variation du bitume et de la granulométrie du granulat.

Les caractéristiques de base du vieux revêtement permettront d'établir les spécifications à exiger du nouveau granulat afin d'obtenir la granulométrie recherchée et aussi de fixer le pourcentage de liant bitumineux nécessaire à la fabrication du mélange désiré. De plus, ces caractéristiques permettront aussi de choisir la pénétration du nouveau liant bitumineux et de voir si des additifs rajeunissants, solvants ou autres sont nécessaires.

Toutefois, si la quantité de vieux revêtement est telle que son recyclage implique une proportion supérieure à 50% mais inférieure à 80%, le recyclage reste possible mais seulement pour les usines du type tambour-malaxeur. La mise en réserve contrôlée du vieux revêtement une fois concassé revêt un caractère encore plus important dans ce dernier cas afin d'assurer l'homogénéité du produit fini.

Dans les régions où il y a pénurie de matériau et un surplus de quantités de vieux revêtement, la fondation peut alors être remplacée par un enrobé bitumineux composé d'un pourcentage de vieux revêtement recyclé. Une telle substitution peut sembler coûteuse à première vue. Cependant, comme nous le verrons plus loin, l'intervention des divers facteurs d'équivalence structurale peut avantager un tel choix.

Il est bon de rappeler aussi que plus la couche d'enrobé de remplacement sera épaisse, plus le granulats d'addition pourra être grossier, plus le mélange pourra être ouvert et moins la teneur en bitume ne devrait être élevée.

1.6 Le recyclage par usinage à froid

La décision de procéder à un recyclage par usinage à froid peut être prise à peu près en tout temps car ce recyclage peut être fait dans tous les genres d'usines, les équipements clefs étant: un malaxeur, un dispositif doseur du liant et un dispositif doseur du granulats. Les seules restrictions à ce type de recyclage sont les conditions climatiques surtout lorsqu'un liant émulsifié est utilisé.

Tout ce qui a été dit sur le recyclage par usinage à chaud s'applique au recyclage par usinage à froid sauf ce qui a trait aux restrictions sur les pourcentages du vieux revêtement entrant dans la composition du nouveau mélange. En effet, l'usinage étant réalisée sans échange de chaleur dans ce cas, il est possible de recycler sans addition de granulats neufs; ce dernier n'étant de toute façon ajouté que pour améliorer les propriétés structurales du mélange.

1.7 Le stockage en vue d'une utilisation ultérieure

Le stockage du vieux revêtement fragmenté en vue d'une utilisation ultérieure peut résulter d'une décision prise lors de la préparation d'un projet ou être la conséquence d'une option figurant au bordereau de l'appel d'offres; le plus bas

soumissionnaire ayant choisi d'exécuter les travaux sans recyclage. Donc si aucune possibilité d'utilisation ultérieure n'est prévue, il convient de ne pas mentionner au bordereau une option excluant le recyclage.

Si le concepteur décide de stocker le vieux revêtement en vue d'une utilisation ultérieure, le site de stockage doit être choisi soigneusement afin d'éviter des frais de transport coûteux lorsque le moment de procéder au recyclage surviendra. Il paraît opportun de signaler ici que le rythme des augmentations des produits pétroliers est si élevé actuellement que le stockage des revêtements pourrait d'ici peu constituer un investissement très rentable.

Une précaution doit cependant être prise pour protéger cet investissement; le stockage doit être fait en fragments grossiers afin d'éviter une trop forte oxydation du bitume sans toutefois excéder les dimensions requises par les équipements de concassage.

2 L'ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Une fois que le concepteur d'un projet de rénovation de chaussée a fixé son choix quant à la façon dont il entend disposer du vieux revêtement (section 1), il doit explorer soigneusement chacun des aspects suivants:

- a) les caractéristiques du vieux revêtement;
- b) la réduction;
- c) le pourcentage recyclable;
- d) les restrictions autres que celles prévues au CCDG;
- e) le système de retenue pour la non-conformité;
- f) la fourniture du liant;
- g) le facteur d'équivalence structurale.

2.1 Les caractéristiques du vieux revêtement

Les caractéristiques du vieux revêtement sont obtenues à partir de l'analyse des échantillons prélevés par carottage 3 par kilomètre de revêtement et sont définis par:

- a) la teneur moyenne en bitume de l'enrobé;
- b) la granulométrie moyenne du granulat;
- c) la pénétration et la viscosité moyennes du bitume.

Elles permettent de fixer:

- a) le pourcentage du granulat d'ajout et sa granulométrie;
- b) les besoins en liant d'ajout et ses caractéristiques;
- c) les quantités nécessaires d'agent rajeunissant, de solvant, etc...

Toutes ces données sont fournies par le Ministère. Elles sont nécessaires chaque fois que le choix du concepteur s'arrête sur la vente du vieux revêtement, sur son recyclage par usinage à chaud ou à froid ou encore sur le stockage du vieux revêtement.

2.2 La réduction

La réduction est l'opération mécanique qui consiste à réduire le vieux revêtement en un conglomérat de 50 mm ou moins. Cette opération peut être réalisée par un équipement de concassage à partir des fragments obtenus par défoncement et arrachement ou par planage sur la route.

Cette réduction n'est nécessaire que lorsque le choix du concepteur s'arrête sur le recyclage comme matériau de fondation, sur le recyclage par usinage à chaud ou à froid ou encore sur un stockage d'une durée inférieure à 2 ans.

Dans le cas du recyclage par usinage à chaud, la réduction peut être faite jusqu'à 50 mm maximum; elle sera de 38 mm dans le cas du recyclage à froid afin de faciliter la pénétration des additifs et de 25 mm dans le cas du recyclage comme matériau de fondation.

2.3 Le pourcentage recyclable

Le pourcentage recyclable est la portion de vieux revêtement qui peut être incorporé dans chacun des choix que le concepteur peut prendre pour disposer du vieux revêtement.

Ce pourcentage sera égal à 100 dans le cas de la mise au rebut ou du recyclage comme matériau de fondation, de la vente et du stockage.

Dans le cas du recyclage comme matériau de remblai, le pourcentage recyclable sera sensiblement égal à 100, l'exception étant pour les revêtement de forte épaisseur (> 150 mm) dont les fragments ne pourraient être réduits par les équipements standards de terrassement.

Le recyclage par usinage à chaud et usinage à froid permettent parfois d'atteindre un pourcentage recyclable de 100%: Dans la majorité des cas cependant, des matériaux d'apport pour corriger la granulométrie sont nécessaires, de sorte que le pourcentage recyclable ne dépasse guère 80.

2.4 Les restrictions autres que celles prévues au CCDG

Si le concepteur prévoit la mise au rebut du vieux revêtement, les articles 26.04.10 et 26.04.9 s'appliquent sans autre particularité. Si le concepteur prévoit le recyclage comme matériau de remblai, le vieux revêtement peut être considéré comme un roc schisteux et ce sont les articles 26.04.10 et 26.10.4 du CCDG qui s'appliquent sans autre particularité.

En ce qui concerne les autres choix d'utilisation possibles, le concepteur doit tenir compte de l'opération de concassage comprise dans chacun de ces choix et fixer les dimensions maximales de la fragmentation obtenue sur la route en fonction des dimensions des unités de concassage utilisées ultérieurement.

2.5 Le système de retenue pour la non-conformité

Le système de retenue pour la non-conformité ne s'applique qu'aux procédés de recyclage pas usinage à chaud ou à froid.

Dans le cas du recyclage par usinage à chaud, le système s'applique sans changement et sans restriction.

Pour le recyclage par usinage à froid, le système s'applique en modifiant l'exigence sur la compacité. Cette dernière est fixée à partir des résultats obtenus à l'aide de diverses séquences de cylindrage réalisées sur une planche d'essais.

2.6 La fourniture du liant

La fourniture du liant ne s'applique qu'aux procédés de recyclage par usinage à chaud ou à froid. La fourniture du liant est alors faite par le MTQ si le bordereau ne contient pas d'option. Si des options sont laissées au choix du producteur, c'est ce dernier qui fournit le liant.

Dans le cas de projets spécifiques, c'est-à-dire lorsque le MTQ est l'unique acheteur, la conciliation est faite à l'aide de l'inventaire physique.

S'il s'avère impossible que le MTQ soit l'unique acheteur, la politique courante pour la fourniture du liant s'applique et la conciliation est faite à partir des essais effectués par le laboratoire du MTQ ou par ses représentants autorisés. Encore une fois cette procédure s'applique si le bordereau ne contient pas d'option; le cas échéant, la fourniture du liant est laissée au producteur.

2.7 Le facteur d'équivalence structurale

Certaines études récentes auraient démontré une supériorité structurale de l'ordre de 10% dans les mélanges issus du recyclage sur les mélanges neufs. Il est peut-être trop tôt pour tenir compte en tout temps d'un tel avantage mais cette tendance devrait encourager le recyclage des vieux revêtements.

Le facteur d'équivalence structurale est un nombre guide qui permet de comparer structurellement les matériaux constitutifs d'une chaussée donnée. Plus précisément, il indique à quoi équivaut au point de vue structural une certaine épaisseur d'un matériau donné par rapport à la même épaisseur de

pierre concassée. Celle-ci ayant par définition un coefficient égal à l'unité, il s'ensuit par exemple qu'un sable de sous-fondation se verra assigner un coefficient de 0,4 parce que sa résistance structurale est 2,5 fois moindre que celle de la pierre concassée ou autrement, 50 mm de sable dans une chaussée apporte la même contribution à la portance de l'ensemble que 20 mm de pierre concassée.

La table qui suit illustre les facteurs qui s'appliquent à divers matériaux en vue d'obtenir l'équivalence structurale en épaisseur de pierre concassée.

MATÉRIAUX	FACTEURS d'équivalence structurale en pierre concassée
Sable	0,4
Vieux revêtement réduit en conglomérat de 25 mm max.	1,0
Revêtement bitumineux fissuré	1,5
Enrobé bitumineux préparé et posé à chaud ou à froid	
épaisseur < 100 mm	2,0
100 < épaisseur < 150 mm	2,5
épaisseur < 150 mm	3,0

Le tableau 1, présenté en page 14 montre les aspects de l'étude préliminaire qui s'appliquent à chacun des choix

3 LES MODES DE RÉDUCTION

La réduction du vieux revêtement peut être effectuée de 2 façons, soit: par concassage
par planage

3.1 La réduction par concassage

Si les fragments en provenance de la route sont très grossiers l'utilisation d'un concasseur primaire peut être nécessaire.

Cependant, certains producteurs trouvent plus avantageux de briser les gros fragments en circulant dessus avec un bélier mécanique ou une chargeuse à chenilles. Le conglomerat est par la suite tamisé et les particules retenues sont à nouveau mises en pile, circulées puis soumises au tamisage. Il va sans dire que cette opération est grandement facilitée par une température ambiante estivale, surtout si l'épaisseur du vieux revêtement est supérieure à 150 mm.

Le type de concasseur ne pose pas de problème particulier et il en est de même pour le tamisage à moins que le revêtement ne soit récent (< 5 ans) et que la température ambiante soit élevée. Dans ce dernier cas, une agglutination pourrait être observée sur les tamis et sur les parties vives des concasseurs.

3.2 La réduction par planage

La réduction par planage est réalisée directement sur la route à l'aide de couteaux à têtes en carbure de tungstène fixés sur un mandrin rotatif. La machine portant cet outil peut progresser à une vitesse de 0-25 m/min. La grosseur du conglomerat obtenu de même que la progression sont tous deux fonction de la profondeur de coupe effectuée.

La machine permet généralement d'obtenir directement un conglomerat réduit à la dimension désirée. Toutefois, lorsque le planage est effectué sur un revêtement très fissuré, des fragments plus ou moins grossiers sont susceptibles de se former. Il peut donc arriver alors qu'un tamisage suivi d'un concassage soit nécessaire pour permettre une utilisation sans rejet.

La réduction par planage offre la possibilité de réhabiliter une chaussée de façon économique surtout lorsque le résidu du planage est recyclé dans la couche de recouvrement.

Actuellement, lorsqu'il est question de remise en bon état d'une chaussée, une quantité d'enrobé bitumineux est utilisée pour corriger le profil et faire disparaître les ornières formées par le passage répété des véhicules.

Le planage permet par des coupes plus ou moins profondes la remise en bon état des profils en long et en travers.

Une économie peut ainsi être réalisée par l'élimination de la quantité d'enrobé nécessaire à la correction, par le recyclage du résidu de planage et par l'élimination des besoins de réhaussement des accotements pavés, des bordures, etc...

Dans le cadre d'une réhabilitation, le planage peut être fait durant la saison hivernale et la pose de la couche de recouvrement peut être retardée d'une année sans problème car la surface de roulement est anti-dérapante et le profil amélioré.

4 L'APPEL D'OFFRES

Lors de la préparation des documents en vue de l'appel d'offre, le concepteur du projet doit indiquer au devis spécial, au devis descriptifs et au bordereau des quantités et des prix le choix qu'il a fait ou qu'il désire laisser à l'entrepreneur ou au producteur. Le choix en question doit porter sur les 3 modes suivants:

- a) le recyclage sans usinage;
- b) le recyclage par usinage;
- c) option de l'entrepreneur.

4.1 Le recyclage sans usinage

Le recyclage sans usinage comprend l'opération de la fragmentation réalisée sur la route par défoncement et arrachement et peut inclure aussi la réduction. Il regroupe les choix de mise au rebut, de recyclage comme matériau de remblai, de recyclage comme matériau de fondation, de vente et de stockage en vue d'une utilisation ultérieure.

Les aspects de l'étude préliminaire pertinents au choix sont mentionnées au devis spécial. (Voir tableau 1, page 14)

NOTE: Si la vente n'a pas été faite à un producteur avant l'attribution du contrat, il est possible de la vente du vieux revêtement à l'entrepreneur en exigeant comme paiement, une quantité d'emprunt "B" comme valeur de remplacement.

4.2 Le recyclage par usinage

Le recyclage par usinage regroupe les procédés d'usinage à chaud ou à froid en vue d'une utilisation comme revêtement ou substitut à la fondation.

Les aspects de l'étude préliminaire pertinents au choix sont mentionnées au devis spécial. (Voir tableau 1, page 14)

4.3 L'option de l'entrepreneur

Lorsque les choix sont nombreux, le concepteur peut éprouver des difficultés à fixer le mode de recyclage du fait qu'il ignore tout des équipements que possèdera l'entrepreneur, de son expérience, de sa compétence et de ses connaissances techniques.

En pareille circonstance, il peut être avantageux de laisser aux soumissionnaires le dimensionnement d'une partie de la structure de la chaussée tout en respectant les équivalences structurales utilisées par le concepteur. Ainsi, certains préféreront recycler le vieux revêtement pour remplacer une partie des fondations et la couche de base formant le nouveau revêtement tandis que d'autres recycleront le maximum dans le nouveau revêtement alors que pour d'autres, le stockage en vue d'une utilisation ultérieure sera le choix préféré.

Les caractéristiques pertinentes aux choix possibles sont alors mentionnées au devis spécial. (Voir tableau 1, page 14)

4.4 Le pourcentage du vieux revêtement recyclé

Lorsque le concepteur choisit le mode de recyclage, il doit préciser au devis spécial le pourcentage du vieux revêtement qui sera intégré à la fabrication du nouveau produit. Ce pourcentage n'est cependant pas une valeur absolue et il est normal de lui allouer une variation de $\pm 5\%$.

4.5 Le granulats de correction

Lorsque le concepteur choisit le mode de recyclage, il doit préciser au devis spécial si le granulats de correction est fourni par le MTQ. De plus, les calibres des granulats de correction doivent être indiqués.

Dans le cas où le mode de recyclage est laissé en option à l'entrepreneur, la fourniture du granulats de correction est laissée à ce dernier.

4.6 La fourniture du liant

Lorsque le concepteur choisit le mode de recyclage, il doit préciser au devis spécial si le liant d'apport est fourni ou pas par le MTQ. Il doit également spécifier la pénétration du liant.

Dans le cas où le mode de recyclage est laissé en option, la fourniture du liant d'apport est laissée à l'entrepreneur.

4.7 Les additifs

Lorsque le concepteur choisit le mode de recyclage, il doit préciser au devis spécial si des additifs sont nécessaires et s'ils sont fournis par le MTQ.

De plus, les sortes d'additifs de même que les pourcentage nécessaires doivent être indiqués.

Dans le cas où le mode de recyclage est laissé en option, la fourniture des additifs est laissée à l'entrepreneur.

4.8 Le site d'entreposage

À l'exclusion du recyclage comme matériau de remblai, tous les autres choix comportent l'opération de mise en réserve. Il importe donc d'apporter une attention particulière au site d'entreposage.

Les dépôts doivent être faits sur des emplacements qui ont été préalablement nivelés, drainés et débarrassés de toute matière contaminatrice. Les carrières désaffectées où en opération semblent les lieux les plus propices pour satisfaire ces exigences.

TABLEAU I

RECYCLAGE DES VIEUX REVÊTEMENTS

Aspect de l'étude préliminaire Choix	Caractéristiques base du vieux bb	Réduction	Proportion Recyclable	Restrictions	Système de retenue	Fourniture du liant	Facteur d'équivalence structurale
Rebut (art. 1.1)	Non nécessaire	Ne s'applique pas	100	26.04.7 26.04.9 Aucune	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
Remblai (art. 1.2)	Non nécessaire	Ne s'applique pas	≈100	26.04.10 26.10.4 Aucune	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
Fondation (art. 1.3)	Non nécessaire	0-25 mm	100	Concassage	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	1
Vente (art. 1.4)	Nécessaire	Ne s'applique pas	100	Concassage	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
À chaud (art. 1.5)	Nécessaire	0-50 mm	15-80	Concassage	Application intégrale	* MTQ ** producteur	2-3
À froid (art. 1.6)	Nécessaire	0-38 mm	75-100	Concassage	S'applique ≠ compacité	*MTQ ** producteur	2-3
Stockage (art. 1.7)	Nécessaire	Ne s'applique pas	100	Concassage	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas

* Sans option au bordereau

** Cas des options au bordereau

ANNEXE B

Calcul du coût du recyclage des revêtements bitumineux

A) Récupération des vieux revêtements

a) Fraisage à froid

Coût au mètre carré pour 20 mm d'épaisseur (50 kg/m²): 0,50\$ à 0,58\$, soit environ 10,00\$ à 11,60\$ par tonne.

Ces prix sont basés sur les prix soumissionnés en 1980 au Québec et comprennent toutes les opérations, soit le fraisage, le chargement, le transport (7 km) et la mise en pile.

b) Vente du vieux revêtement plané

1,70\$ à 2,65\$ la tonne

Ces prix ont été soumissionnés en 1980 pour l'autoroute 20 à Lévis.

c) Valeurs du vieux revêtement

Granulat	3,98\$
Bitume (6% à 150,00\$/t)	9,00\$
	<hr/>
	12,98\$/tonne

d) Récupération par scarification

Scarification	0,598\$
Chargement	0,260
Transport 1er km	0,616
Transport addition	0,296
Mise en pile	0,260
Concassage	0,830
Mise en pile	0,260
Pesée	<hr/> 0,080
TOTAL:	3,20\$/tonne

B) Prix de base de l'enrobé bitumineux

Granulats	3,98 \$
Usinage	3,76
Chauffage	1,59 (10 l)
Pesée et dépoussiérage	0,54
	<hr/>
	9,87 \$
Bitume (6% à 150,00\$)	9,00 \$
	<hr/>
TOTAL	18,87 \$/tonne

Pose	Couche d'usure		Autre couche	
	Urbain	Rural	Urbain	Rural
	4,45	3,87	3,80	3,30

Ces prix sont ceux établis par le comité des prix unitaires pour les contrats négociés du ministère des Transports du Québec.

C) Exemple de calcul pour une couche d'usure sur une autoroute

1° Méthode conventionnelle

Couche de correction	37 kg/m ²
Couche d'usure	63 kg/m ²

Coût de fabrication et pose:	18,87 + 3,87 =	22,74\$/tonne
Transport (11 km):		3,576/tonne
		<hr/>
		26,316\$/tonne

Soit: couche de correction	=	0,97\$/m ²
couche d'usure	=	1,66\$/m ²

A cela, il faut ajouter les accotements (3,05 + 1,22 m) où la couche d'usure est posée au taux moyen de 50 kg/m², soit un coût de 1,32\$/m². Donc, pour 1 km de route, le coût serait de: 1000 (7,31 x 2,63 + 4,27 x 1,32) = 24,860\$/km.

2° Méthode avec recyclage

Fraisage à froid

0,60\$/m²

Couche d'usure avec recyclage 50-50

Enrobé à recycler	0,260\$	(chargement)
Ajout granulaire	1,99	(50% x 3,98)
Usinage	3,76	
Chauffage	1,59	
Pesée et dépoussiérage	0,54	
	8,14 \$	
Bitume (3% de 150,00\$)	4,50	
	12,64\$/tonne	
Pose	3,87\$/tonne	
Transport (11 km)	3,576\$/tonne	
	<u>20,086\$/tonne</u>	
TOTAL:-	20,086\$/tonne	

Soit pour la couche d'usure à 63 kg/m²: 1,27\$/m²

Ici, il n'est pas nécessaire de recouvrir les accotements au complet; il s'agit de finir la couche d'usure 0,50 m du bord des pistes de roulement. La quantité requise de mélange est de (63 - 50) kg/m², soit un coût de 0,26\$/m².

Donc, pour 1 km de route le coût serait de:

$$1000 [7,31 (1,27 + 60) + 3 \times 0,26] = 15,450\$/km$$

De plus, comme le planage aurait procuré une quantité de 365,5 tonnes de mélange à recycler par kilomètre et que le recyclage 50-50 n'en aurait consommé que 230 tonnes, il y aurait donc 135,5 tonnes de mélange à recycler restant par kilomètre de route et ce matériau aurait pu être vendu à l'entrepreneur à 12,65\$ la tonne, soit un total de 609,50\$ par kilomètre.

Donc, le recyclage peut, dans ce cas-ci, faire réaliser une économie globale de:

$$24860 - 15450 + 610 = 10,020.00\$/\text{km}$$

Cette économie est réalisée surtout à cause du bitume et de la quantité moindre de revêtement mis sur les accotements. Plus le bitume sera dispendieux, plus l'économie sera grande.

En ville, seule l'économie du bitume est en cause, mais dans bien des cas, on ne peut se permettre de faire de couche de correction à cause du profil de la rue, il faut enlever une épaisseur avant de poser la couche d'usure. On pourrait alors ne pas inclure le coût du planage ou du fraisage dans les calculs.



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 102 214