

CANADA
MINISTÈRE DES MINES ET DES RESSOURCES

DIVISION DES MINES ET DE LA GÉOLOGIE
SERVICE DES MINES

LA STABILISATION DES ROUTES

PAR

R.-H. Picher



OTTAWA
EDMOND CLOUTIER
IMPRIMEUR DE SA TRÈS EXCELLENTE MAJESTÉ LE ROI
1940

Prix: 25 cents

N° 801

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
Premiers essais.....	1
La stabilité des sols de voirie.....	2
Les stabilisateurs permanents.....	7
Facilité d'adaptation aux circonstances locales.....	7
Pratique suivie dans la stabilisation des routes.....	8
Résultats obtenus.....	11
Enduit au bitume des routes stabilisées.....	12
Avantages et coût.....	13
La construction des routes stabilisées.....	16
Essais ordinaires.....	17
Routes de gravier stabilisé.....	20
Matériaux mélangés sur les lieux.....	21
Matériaux malaxés dans l'atelier fixe.....	22
Outillage d'un atelier de malaxage fixe.....	23
Epan dage et tassement.....	24
L'entretien.....	26
Les routes de sable et d'argile stabilisés.....	27
Confection.....	29
Confection avec stabilisateurs permanents.....	30
Fonction des substances chimiques d'addition.....	33
Routes silicatées.....	36
La stabilisation des sols et l'amélioration des routes canadiennes.....	38
L'emploi du gravier et du drift glaciaire.....	39
L'influence du climat.....	40
L'amélioration des routes par étapes progressives.....	41

ILLUSTRATIONS

Photographies

	PAGE
Planche I. La surface des routes stabilisées est unie:	
A. Route traitée au chlorure de sodium (Schomberg, Ont.).....	43
B. Route traitée au chlorure de calcium (près de Wingham, Ont.)...	43
II. A. Une route traitée au chlorure de sodium blanchit par temps sec (Photo prise à l'est de Port Carling, Ont.).....	44
B. Illustration de la résistance des routes traitées au chlorure de sodium: les roues des tracteurs n'en marquent pas la surface (Brechin, Ont.)	44
III. La surface d'une route stabilisée vue de près:	
A. Route traitée au chlorure de sodium (Cookstown, Ont.).....	45
B. Route traitée au chlorure de calcium (entre Huntsville et Dwight, Ont.)	45

Plan

Figure 1. Graphique du classement granulométrique idéal.....	4
--	---



INTRODUCTION

Des 400,000 milles qui constituent le réseau des routes publiques du Canada, à peine le quart peut entrer dans la classe des 'routes améliorées'. En 1935, on pouvait répartir nos routes à peu près comme suit: non améliorées, 77 p. 100; gravelées, 20 p. 100; et à revêtement dur, 3 p. 100.

L'établissement sur nos routes d'une surface qui soit peu coûteuse et utilisable en tout temps constitue le noyau du problème de l'amélioration des routes au Canada. Bien que la circulation soit relativement peu considérable sur la plupart d'entre elles, l'automobile exige toutefois un genre de chaussée qui les rende praticables par tous les temps. D'autre part, vu la grande étendue de notre réseau routier et la faible densité de la population, il est absolument nécessaire que l'amélioration soit aussi peu coûteuse que possible. L'expérience a révélé que le gravier est le matériau qui correspond le mieux à ces exigences: il y en a un peu partout, il est d'un emploi facile et il résiste bien à une circulation automobile de moyenne intensité. Plusieurs grandes routes et la plupart de leurs tributaires ont des revêtements de gravier.

Les graviers ne conviennent toutefois pas tous aux revêtements routiers et même les bons graviers n'ont qu'une endurance limitée, selon la circulation. Un gravier peut très bien résister à l'usure d'un transport léger et faire défaut dans des conditions plus rigoureuses. Plus la circulation est intense, plus les frais d'entretien sont élevés; ils peuvent même devenir disproportionnés au coût du revêtement de gravier ou à la valeur de son rendement. De fait, ce sont les frais annuels d'entretien des routes gravelées plutôt que leur coût de construction qui ont incité les ingénieurs à chercher au cours des dernières années les moyens d'améliorer par traitement approprié l'endurance de ces routes et de réduire d'autant le coût de leur entretien. Les véhicules moteurs rapides dégagent les matériaux de la surface et les dispersent graduellement sur les côtés de la route, de sorte que dans ces conditions le manque de stabilité ou de cohésion contribue plus que l'usure à la détérioration des routes gravelées ou autres routes à liant d'eau. Les changements de température sont une autre cause d'instabilité; ils affectent toutefois moins les routes gravelées que les routes améliorées avec des matériaux à texture plus fine. D'un côté, on s'est donc efforcé d'améliorer la stabilité dans toutes les circonstances, et de l'autre, là où la circulation l'exigeait, on a augmenté la résistance à l'usure par le traitement de la surface ou par l'application d'une mince couche de roulement sur la surface déjà améliorée.

Des différents moyens employés pour améliorer la stabilité des sols routiers, la stabilisation de certains sols granuleux par liant d'argile et film d'eau a été l'objet d'un plus grand nombre de recherches, et on a fait faire plus de progrès à cette méthode parce qu'elle s'adapte facilement aux conditions locales, qu'elle exige une technique opératoire relativement simple et qu'elle est peu coûteuse.

Le présent rapport traite spécialement de cette méthode, qui a d'ailleurs donné d'excellents résultats et dont l'adaptation pratique se généralise de plus en plus.

La technique du traitement des sols avec les stabilisants soi-disant permanents a fait beaucoup de progrès depuis la préparation de ce rapport. L'emploi dans ce but du ciment Portland et de différents produits bitumineux augmente rapidement aux Etats-Unis. Les bons résultats obtenus avec les stabilisants permanents justifieraient une description détaillée des méthodes employées, mais, faute de temps, l'on n'en donnera qu'un bref aperçu.

LA STABILISATION DES ROUTES

PREMIERS ESSAIS

La stabilisation des sols résulte de la préparation d'un mélange bien proportionné où les grains du sol seront enrobés par une matière d'agrégation suffisante pour former une masse compacte qui résistera à toutes les intempéries. Pour avoir le maximum de densité et de stabilité possible, il faut que le mélange, une fois tassé, ait le minimum de vides ou, en d'autres termes, qu'il soit dosé avec soin selon la dimension des grains et lié par une matière d'agrégation, telle que l'argile.

On sait depuis longtemps qu'en mélange approprié certains sols montrent plus de stabilité que séparément. La pratique bien connue d'incorporer des matériaux granuleux, sable, gravier ou pierre concassée, à un sol argileux, ou d'ajouter de l'argile à un sol granuleux pour en augmenter la résistance est un genre de stabilisation. On peut en dire autant du traitement des sols qui, à leur état naturel, seraient trop instables pour supporter les fondations d'un bâtiment. Il n'y a toutefois pas longtemps que nos connaissances se sont enrichies de données sérieuses relatives aux propriétés des sols et aux principes qui en régissent la stabilisation.

Dans plusieurs pays, on a d'abord étudié les propriétés des sols intéressant l'agriculture et la géologie, et on a employé les méthodes d'essai suivies dans ces recherches pour des études ultérieures sur les sols de voirie. La première étude importante entreprise dans ce domaine le fut en 1906 dans l'état de Georgie, Etats-Unis, par le docteur C. M. Strahan qui étudia les résultats obtenus avec différents sols de voirie en regard de leur classement établi par l'analyse au tamis granulométrique. De 1920 à 1930, période où l'on pava beaucoup de routes, on constata, après de minutieuses observations, que certaines déficiences, voire l'insuccès complet de quelques pavages étaient causées par des manquements du sous-sol. Vu le coût élevé de ces pavages, on en vint à penser que l'étude du sous-sol des routes et des moyens à prendre pour augmenter leur stabilité méritaient sérieuse considération. L'amélioration de la stabilité du sous-sol par un traitement approprié permettrait d'établir un pavé plus mince et d'économiser plus que le coût de l'amélioration du sous-sol. On se rendit toutefois compte qu'on n'arriverait à une heureuse solution du problème qu'après une étude approfondie des propriétés et des réactions qu'auraient les sols à divers degrés d'humidité. Le Service des Routes publiques ('Bureau of Public Roads') de Washington, D.C., entreprit donc une enquête complète sur les propriétés des sols. Le but de l'enquête était de classer les sols d'après leurs caractéristiques, de déterminer les propriétés ou les qualités requises pour obtenir le maximum de stabilité, d'indiquer les moyens d'améliorer la stabilité de chaque classe et d'établir des méthodes d'essai simples qui pourraient servir aux ingénieurs de voirie dans l'identification des différents sols qu'ils rencontrent et dans l'établissement du traitement qui permettra d'obtenir de chacun d'eux les propriétés désirées.

L'enquête avait comme premier but la détermination des propriétés qui peuvent affecter la résistance des sols de fondations, mais l'amélioration obtenue dans la stabilité des sous-sols routiers au cours d'essais pratiques fut tellement sensible que l'on conçut l'idée d'appliquer les mêmes principes à la stabilisation de la couche de roulement des routes à liant d'eau : chemins de pierre ou de laitier concassés, de gravier, de mélange de sable et d'argile, chemins de terre, etc. Le réseau de ces sortes de chemins, dits peu dispendieux, est beaucoup plus long que celui des routes à revêtement dur, et l'on pensa que l'amélioration de la stabilité pourrait augmenter suffisamment l'endurance de la route pour différer indéfiniment l'éventualité du pavage. Ce genre d'amélioration revêtait une importance particulière en un temps de crise où il fallait, faute de fonds suffisants, écourter le plus possible la liste des projets de pavage. Vers 1931, plusieurs organismes de voirie, avec la coopération du Service des Routes publiques, se mirent à construire, à titre d'expérience, des tronçons de route à surface stabilisée. Les résultats furent si encourageants qu'on construisit, chaque année, de plus en plus de ces routes. Le comté d'Onondaga, Etat de New-York, où l'on fit les premiers tronçons d'essai, a maintenant 400 milles de routes stabilisées.

Les surfaces stabilisées constituent une base excellente aux améliorations futures que peut exiger la circulation. On construit plusieurs de ces surfaces en vue de les recouvrir d'un enduit superficiel ou d'une couche mince d'empierrement au bitume aussitôt que la circulation aura suffisamment tassé la couche stabilisée. La surface ainsi traitée pourra d'ailleurs, si nécessaire, servir d'assiette à un pavage ultérieur.

STABILITÉ DES SOLS ROUTIERS

Pour être stable, un sol doit être bien proportionné granulométriquement et bien tassé; il doit contenir une matière plastique, telle que l'argile, qui sert de liant ou d'agent cohésif; sa teneur en humidité doit se maintenir entre certaines limites, variables suivant la nature du sol. L'action cohésive ne dépend pas seulement de la matière plastique, mais elle est en réalité fonction d'une mince pellicule d'eau d'imprégnation aidée par les plus fines particules de l'argile. La cohésion d'un sol peut varier dans de grandes limites suivant sa teneur en eau. Le sable de plage fournit un exemple familier de la force cohésive de l'eau: à l'état parfaitement sec ce sable n'a aucune cohésion, tandis qu'au degré optimum d'humidité sa fermeté est telle que les véhicules de course y laissent à peine leur empreinte. On explique ce fait par la tension superficielle de la pellicule d'eau qui entoure les grains du sol et dont l'action peut être comparée à celle d'une bande élastique. Plus mince est le film, plus forte est sa tension superficielle et plus grande, sa force de cohésion. On comprend alors l'importance de maintenir la teneur en humidité entre certaines limites, la teneur optimum variant d'ailleurs un peu suivant le classement granulométrique et la texture du sol. Si le sol s'assèche trop, la pellicule disparaît, tandis que dans un sol trop humide la pellicule s'épaissit au point de perdre toute tension superficielle et n'exerce plus aucune cohésion. Un sol bien dosé granulométriquement et bien compact, en plus de posséder une plus grande stabilité grâce à sa grande densité ou à son peu de porosité, résiste à l'infiltration d'une quantité préjudiciable d'eau.

Les éléments des sols à l'état naturel peuvent se grouper comme suit d'après leur grosseur :

Gravier.—Éléments ayant plus de 2.0 millimètres de diamètre (tamis n° 10*).

Gros sable.—Le diamètre des particules varie de 2.0 à 0.42 millimètres (tamis n° 40).

Sable fin.—Le diamètre des particules varie de 0.42 à 0.05 millimètre (tamis n° 200).

Silt.—Le diamètre des particules varie de 0.05 à 0.005 millimètre.

Argile.—Le diamètre des particules est inférieur à 0.005 millimètre.

Relativement aux sols et à leur composition, on peut souligner l'influence que les paillettes de mica, la tourbe, les diatomées et les constituants de nature chimique ont sur leurs propriétés.

Le gravier et le gros sable ont pour fonction de contribuer à la dureté et à la résistance aux déformations, surtout quand le temps est pluvieux ou humide. Le sable fin agit en manière de coussin pour donner du support au gros sable. Le silt remplit les interstices et empêche les particules granuleuses de bouger. L'argile fournit la cohésion et constitue un liant, qui varie selon la teneur en humidité. Le haut degré de capillarité et de spongiosité du mica, de la tourbe et des diatomées a pour effet de diminuer la stabilité des sols.

Le classement granulométrique d'un sol, i.e. la proportion des éléments suivant leur grosseur, se fait par l'analyse au tamis. Pour les éléments les plus fins, il est plus commode d'avoir recours à la méthode de l'hydromètre, qui consiste à disperser le sol dans l'eau par agitation, et à lire sur l'hydromètre qu'on plonge dans le liquide les densités qui correspondent aux différentes périodes de décantation. Les quantités de matière en suspension équivalentes aux diverses densités sont données dans des tables ou diagrammes spéciaux.

Pour déterminer toutes les propriétés qui jouent un rôle important dans la stabilité des sols, il faut faire, outre l'analyse au tamis et à l'hydromètre, d'autres essais physiques qui établiront l'influence du degré d'humidification des sols sur leur cohésion, leur retrait et leur gonflement sous l'effet de la gelée. Quelques-uns de ces essais, particulièrement importants pour certains sols, le sont peu pour d'autres, et on les néglige généralement dans la pratique.**

L'expérience démontre que les sols sont stables lorsqu'ils sont constitués de façon à présenter :

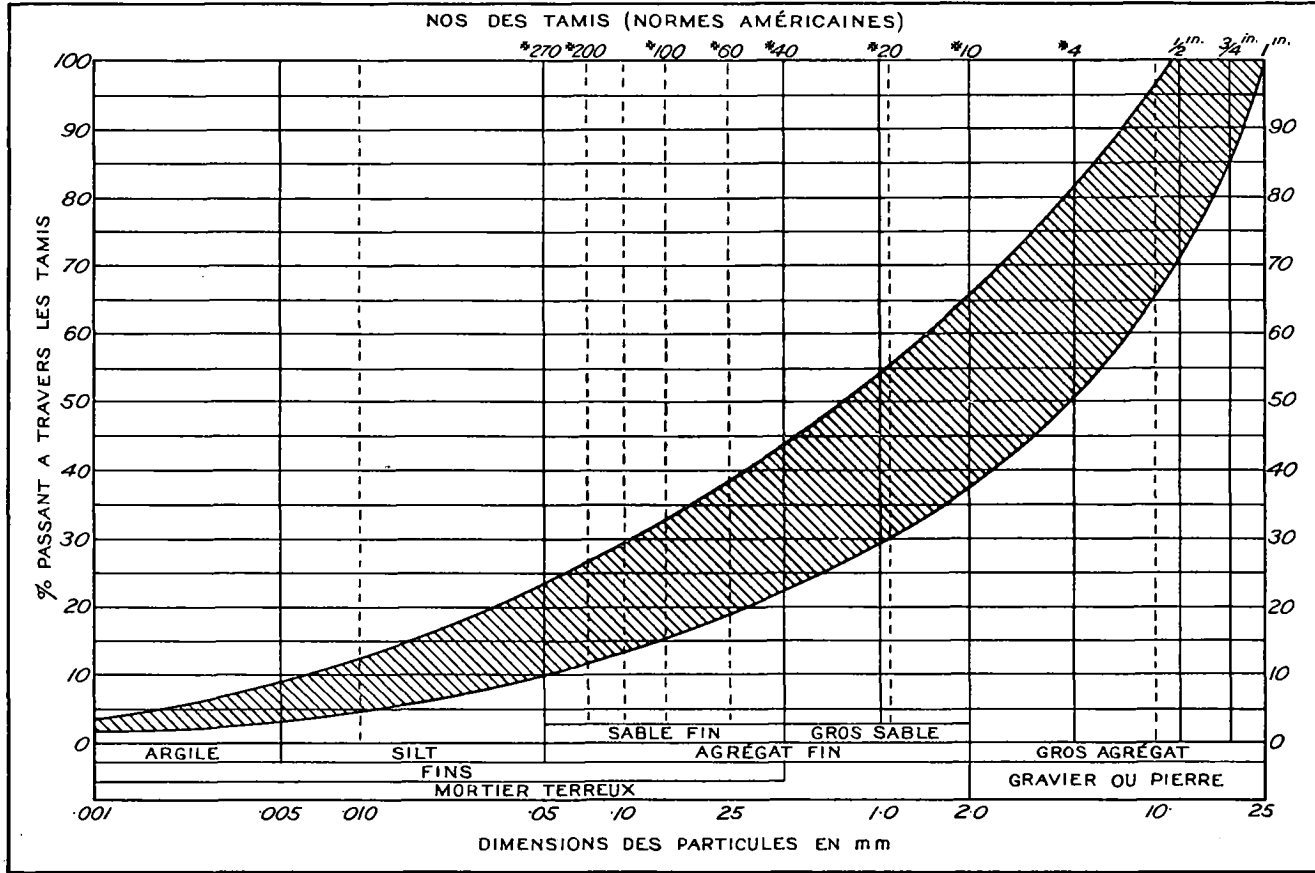
1. Un tassement et une densité suffisants pour résister au poids et aux chocs de la circulation.

2. Un lien interne fourni par l'agrégation des particules, et par la pellicule d'eau lorsqu'il pleut et que la cohésion de l'argile se trouve fortement réduite.

3. Une cohésion suffisante du liant argileux pour maintenir la route stable par temps sec.

* Tamis à 10 mailles au pouce linéaire, d'après la désignation généralement reconnue en Amérique.

** Les essais des sols, leur signification et leur application à la pratique sont décrits et commentés dans les numéros de juin, juillet, octobre 1931 et de février 1935 de "Public Roads", publication du Service des Routes publiques, Département de l'Agriculture, Washington, États-Unis.



Graphique du classement granulométrique idéal. La courbe de classement du matériau doit être dans la partie hachurée.

4. Un volume constant, c'est-à-dire, où il n'y aura pas d'excès d'argile, qui par suite de variations dans la teneur en eau pourrait se contracter ou se gonfler au point de déchausser les particules granulaires.

La constitution de mélanges terreux présentant les caractéristiques précédentes est basée sur le classement granulométrique que détermine l'analyse au tamis et sur le pouvoir d'agrégation des fins, que révèle l'essai de plasticité fait sur la fraction du sol qui passe au tamis n° 40.

Les matériaux classés dans les limites granulométriques suivantes devraient donner de bons résultats:

Passant	Pour cent en poids
au tamis de 1 pouce.....	100
au tamis de $\frac{3}{4}$ pouce.....	85-100
au tamis n° 4.....	55- 85
au tamis n° 10.....	40- 65
au tamis n° 40.....	25- 50
au tamis n° 200.....	10- 25

Les particules qui passent dans le tamis n° 200 ne doivent pas représenter plus que les deux tiers de celles qui passent au tamis n° 40. Ces dernières doivent avoir un indice de plasticité compris entre 1 et 15, et une limite de liquidité n'excédant pas 35, et cela d'après des essais physiques.* Les valeurs à assigner dépendent d'ailleurs de l'état hygrométrique dominant. En général un indice de plasticité variant de 1 à 3 indique une valeur cohésive suffisante pour les chemins à construire dans des régions très humides; un indice de 4 à 8, dans des conditions normales d'humidité; et un indice de 9 à 15, pour un climat sec ou aride. Un indice supérieur à 15 dénote un sol impropre à l'emploi dans la couche de roulement.

Les recommandations précédentes pour le dosage granulométrique s'appliquent particulièrement aux surfaces de chaussées stabilisées. Pour la couche de fondement des pavages, ou lorsque la couche stabilisée doit recevoir un traitement superficiel ou un empierrement au bitume, la tendance actuelle favorise l'usage d'un mélange plus grossier et d'une plus faible proportion de fins passés au tamis n° 40; elle exige d'ailleurs un indice de plasticité moindre que pour une couche de roulement non protégée. La couverture bitumineuse protège en effet la couche stabilisée contre l'usure et la détérioration du trafic et elle contribue à maintenir constante la teneur en eau en empêchant une évaporation rapide et la pénétration de l'eau de pluie. Un mélange moins plastique se prête d'ailleurs mieux au traitement superficiel au bitume.

Comme nous l'avons remarqué plus haut, un certain degré d'humidification est nécessaire à la stabilité du sol. Le manque d'humidité dans le corps de la route provoque la formation de la poussière et le déchaussement des pierres par la circulation, tandis qu'un excès d'humidité cause la formation d'ornières. Plus une route s'assèche par évaporation, plus facilement elle se laisse pénétrer par l'eau lorsqu'il pleut, car en période de grande sécheresse il se forme de très petites fissures dans le liant argileux, l'eau de pluie s'y infiltre, pénètre dans la structure de la route et la

*Les essais à la plasticité et à la liquidité sont décrits plus loin.

ramollit. La route sera imperméable à l'action nocive de l'eau de pluie si elle est constituée de matériaux bien dosés granulométriquement et humidifiés au degré convenable. Un certain degré d'humidité est particulièrement important dans la route nouvellement construite, car les routes stabilisées, voire toutes les routes à liant d'eau, n'acquièrent leur densité et leur stabilité maxima que lorsqu'elles ont été suffisamment tassées par la circulation. Le roulement des véhicules a pour effet de serrer les particules les unes contre les autres et de diminuer le volume des vides, de sorte que la pellicule d'eau s'amincit graduellement et exerce une cohésion de plus en plus forte. Cependant pour que l'action du trafic soit réellement efficace, on doit maintenir la masse assez plastique pendant cette période d'affermissement.

L'incorporation de certaines substances chimiques dans le mélange facilite son tassement en contribuant à maintenir la teneur d'humidité exactement requise, aussi longtemps que dure la période de formation et à obtenir ainsi le maximum de densité. Le chlorure de calcium et le sel ordinaire sont les deux substances les plus employées pour cela. On peut juger de la grande densité qu'atteint le tassement par des mesurages faits sur certaines couches de roulement traitées au chlorure de calcium ou au sel: elles donnaient un poids de 145 à 150 livres au pied cube après séchage. Un essai de laboratoire facile à faire, appelé l'essai de Proctor, démontre l'importance du degré d'humidification convenable pour atteindre la plus grande densité possible dans le tassement. Brièvement, l'essai consiste à comprimer dans un récipient cylindrique de volume connu un échantillon de sol à différentes teneurs en eau, et à déterminer la densité ou poids unitaire de l'échantillon desséché correspondant aux différentes teneurs en eau. On commence l'épreuve sur le sol très légèrement humidifié. Après compression on pèse le sol et l'on en prélève une petite portion que l'on sèche à l'étuve, ce qui permet de calculer la densité et la teneur en eau du sol comprimé. On répète l'opération en ajoutant chaque fois environ un pour cent d'eau à l'échantillon. On constate que la densité augmente avec la teneur en eau, qu'elle atteint un maximum, puis qu'elle décroît. L'essai montre que pour chaque sol il y a une teneur optimum en eau permettant d'atteindre la densité maximum par le tassement, et que les sols bien proportionnés granulométriquement ont une teneur optimum en eau moins élevée et atteignent au tassement une plus grande densité que les autres.

Pour la stabilisation d'un sol routier par la méthode esquissée plus haut, il est essentiel que le mélange contienne une certaine proportion d'éléments granuleux; mais il n'est pas nécessaire que les grains y atteignent la grosseur du gravier pour en obtenir de bons résultats. En d'autres termes, on peut réussir à stabiliser des mortiers, dits terreux, c'est-à-dire des mélanges de sable et d'argile, mais on obtient une plus grande stabilité par l'apport d'éléments plus gros. Comme le dit le docteur Strahan, qui a spécialement étudié la stabilité de mélanges routiers de sable et d'argile: "Lorsqu'on ajoute à un bon mortier de terre (mélange de sable et d'argile) des matériaux à gros éléments en quantité appréciable, soit 10 p. 100 ou plus, la densité et la stabilité de la surface croissent et continuent à croître jusqu'à ce qu'on arrive à une surface de gravier."

STABILISATEURS PERMANENTS

On peut réussir la stabilisation des sols routiers par l'apport de substances autres que des matériaux terreux. Ces matériaux d'apport, insolubles, enrobent les particules du sol d'une pellicule plus substantielle qu'un simple film liquide et détruisent les propriétés dues à la matière colloïdale des sols, d'où leur nom de stabilisateurs permanents. L'humidité est sans effet sur les sols ainsi traités. Ce mode de stabilisation convient tout spécialement aux sols à peu près dépourvus de matériaux granuleux, comme les sols argileux, mais il s'applique aussi bien aux sols granuleux. Au cours des douze dernières années, on a employé à titre d'expérience bon nombre de stabilisants sur des tronçons de route, et si les essais pratiques n'ont pas donné les résultats qu'on en attendait à la suite des recherches et des épreuves faites au laboratoire, ils promettaient du moins assez pour justifier la continuation des investigations. On a fait tout récemment beaucoup de recherches sur la stabilisation des sols par l'addition de substances telles que le ciment Portland, les asphaltes, les goudrons et les émulsions au bitume. Les résultats encourageants qu'on en a obtenus, dus en partie au contrôle soigné des opérations sur le terrain et au perfectionnement des méthodes de confection, ont suscité l'intérêt général dans ce mode de stabilisation des sols, dont on a aussi tiré parti avec succès dans d'autres ouvrages que les travaux routiers.

FACILITÉ D'ADAPTATION AUX CIRCONSTANCES LOCALES

Dans la stabilisation par liant plastique et film liquide des sols dosés granulométriquement, on peut, dans la plupart des cas, effectuer un mélange convenable en utilisant des matériaux qui existent dans le voisinage de la route; on n'aura qu'exceptionnellement à les chercher au loin. Cette facilité d'adaptation à la situation locale est un des grands avantages de ce genre de confection de routes et fait correspondre son prix de revient à celui d'autres genres de surface à liant d'eau. Son coût initial plus élevé est compensé par des frais d'entretien moins coûteux, par une plus grande durée ou endurance, et par d'autres avantages.

On peut utiliser pour le mélange stabilisé presque tous les sols granuleux, pourvu qu'ils soient à peu près exempts de matières organiques et de mica, et que la grosseur moyenne des particules soit supérieure à celle du sable fin. Le gravier, la pierre et le laitier concassés, même le tout-venant, enfin tous les matériaux à gros éléments qui conviennent à la construction des routes ordinaires à liant d'eau sont propres à servir dans la préparation des mélanges stabilisés. On élimine les trop gros cailloux du gravier par le tamisage à la gravière ou le râtelage sur la chaussée. Une certaine proportion de fragments anguleux est grandement à désirer dans le gravier, car une fois bien serrés dans le corps de la route par suite du tassement, ces fragments opposent une grande résistance au déplacement ou au glissement, et ils contribuent ainsi à la stabilité de la structure. Le passage au concasseur du tout-venant de gravière fournit les fragments anguleux désirés et présente en outre l'avantage de donner un produit de qualité plus uniforme. Il se peut aussi que le concassage fournisse assez de matière fine équivalente au sable fin et au silt et qu'il pare à la nécessité d'aller en

chercher ailleurs, car dans beaucoup de graviers stratifiés les fins font partiellement défaut. Les seuls matériaux à ajouter alors pour avoir la mixture complète seront le liant et la substance chimique régulatrice de la teneur en eau. Toute argile qui satisfait aux conditions requises par l'essai à la plasticité est propre à servir de liant. Le sous-sol de la route même peut servir à cette fin s'il est assez plastique. Dans ce cas, on scarifie la surface à une profondeur suffisante pour ameublir la quantité requise de liant; on entasse ce dernier sur les accotements avant le malaxage. Il arrive souvent que la terre recouvrant les dépôts de gravier soit assez plastique pour servir de liant: on peut alors extraire et mélanger le liant et le gravier par une même opération de la pelle mécanique. On pourra traiter de la même façon les graviers de dépôts situés sur des bancs d'argile. Des briquetteries ou fabriques d'objets en terre cuite opérant dans la localité peuvent fournir l'argile séchée et pulvérisée, prête au malaxage. On extrait le liant de bancs d'argile lorsque ceux-ci se trouvent à proximité ou lorsqu'on ne peut extraire de matière plastique convenable de la gravière, ni du sous-sol de la route.

LA STABILISATION DANS LA PRATIQUE ROUTIÈRE

La stabilisation par liant plastique et film liquide des sols routiers dosés granulométriquement est maintenant entrée dans la pratique courante. Le progrès accompli dans la technique de la construction et les résultats encourageants obtenus permettent de conclure que ce genre de revêtement routier a fait ses preuves et qu'il est bien établi. Dans bien des cas, les résultats ont dépassé toute attente, et le public n'a pas été lent à apprécier les avantages qu'offrent les chaussées stabilisées comparativement aux anciennes routes à liant d'eau; il a même manifesté le désir qu'on maintienne à l'avenir ce genre d'amélioration. L'auteur a fait, durant l'année 1936, l'examen de plusieurs des routes stabilisées qu'on a construites au cours des six ou sept dernières années dans différentes parties des Etats-Unis, de même que dans les provinces d'Ontario et de Québec.

Celles que l'auteur a visitées dans l'état de New-York ont été construites par les organismes de voirie des comtés d'Onondaga, de Tompkins, de Livingston et de Chautauqua. Sur la plupart des tronçons stabilisés, le mélange est constitué de gravier, de glaise sableuse ou de silt argileux, de chlorure de calcium ou de sel ordinaire; dans quelques sections on a employé avec de l'argile et du chlorure de calcium le tout-venant d'un calcaire broyé au concasseur. L'épaisseur de la couche stabilisée a 9 pouces au centre de la chaussée, 6 pouces à une distance de 5 pieds de part et d'autre du centre, et finit à rien à 10 pieds du centre, ce qui donne une largeur totale stabilisée de 20 pieds et exige un peu plus de 1700 verges cubes d'agrégat au mille. La plupart des routes ont été traitées au chlorure de calcium et les autres au sel ordinaire. On épand ordinairement le sel de calcium sur la surface, immédiatement après la construction, à raison de 1.5 livre par verge carrée, tandis qu'on incorpore le sel de sodium dans les 3 pouces supérieurs de la couche avant de la terminer, et à raison de 2 livres par verge carrée. Dans certains cas on a pu se servir du sol de la route même comme liant; dans d'autres on a obtenu le liant d'argile des gravières, lorsqu'il se trouvait mélangé ou interstratifié

avec le gravier, ou qu'il faisait partie du terrain de couverture. Ce n'est qu'exceptionnellement qu'on dût extraire le liant plastique des bancs d'argile. En dehors des quelques tronçons recouverts de calcaire broyé, on a employé partout du gravier tout-venant et il n'était pas rare de voir des cailloux ayant jusqu'à 1.5 pouce de grosseur dans la surface de quelques sections. On affirme que sur plusieurs de ces routes, la moyenne journalière de la circulation dépasse 1,000 véhicules durant la saison d'été.

Au cours des deux dernières années, le département de la voirie de l'Etat d'Ohio a construit un certain nombre de tronçons de routes stabilisées de quelques milles de longueur dans différentes parties de cet état. La plupart de ces sections reçoivent un traitement superficiel ou un empierrement au bitume après que la route a été en service un certain temps et que la couche stabilisée a été bien tassée par la circulation. Le mélange est constitué de gravier, de sable et d'argile, auxquels on ajoute du chlorure de calcium ou du sel ordinaire; on extrait l'argile du sous-sol sur les lieux mêmes. C'est sur la route préalablement préparée et mise au gabarit qu'on construit la couche stabilisée d'une épaisseur uniforme de 3 pouces. Au moment où l'auteur visita ces routes, on construisait, à titre d'expérience, au sud de Chesterville, une section d'une longueur de 3 milles, pour laquelle on se servait de gravier, de sable, d'argile et de sel ordinaire. Sur une longueur d'un mille, où le sous-sol n'était pas assez plastique pour servir de liant, on a employé à la place des criblures de pierre calcaire, déchet d'une carrière du voisinage.

Dans l'Indiana, on a fait l'expérience de diverses substances dans les mélanges stabilisés, entre autres du bitume et des chlorures de calcium et de sodium. L'auteur n'a pas visité ces routes, mais d'après les rapports publiés, les deux chlorures ont donné de bons résultats, particulièrement les essais, plus récents, au sel ordinaire. La mixture, dans laquelle la pierre ou le gravier concassés sont les gros éléments, est épandue en deux couches de 3 pouces d'épaisseur chacune, et le sel y est appliqué sous forme de saumure dans la proportion de $\frac{3}{4}$ de livre de sel non dissous par verge carrée et par pouce d'épaisseur, soit 4.5 livres à la verge carrée ou 26 tonnes au mille. On croit cependant qu'on pourrait maintenir un degré d'humidification suffisant en limitant l'emploi du sel à la couche supérieure et à raison de 2 livres seulement à la verge carrée. On pose sur la route une couche inférieure d'une épaisseur de 3 pouces, on l'humidifie à la saumure, et on la cylindre. On procède de même pour la couche supérieure après un intervalle de quelques jours qui permet un affermissement suffisant de la couche inférieure. Le but de l'épandage en deux couches est d'obtenir un bon tassement dans toute l'épaisseur de la chaussée.

Le Michigan a un long réseau de routes stabilisées; il y en a 50 milles dans le comté d'Oakland seulement. La plupart des surfaces stabilisées furent établies sur des routes déjà gravelées. Lorsque l'ancien revêtement n'était pas trop usé et qu'il y restait encore assez de gravier pour stabiliser la largeur et l'épaisseur requises, on n'avait qu'à y ajouter le liant, et du sable dans quelques cas, pour avoir tout ce qui était nécessaire au mélange. Lorsque l'ancien revêtement était trop usé, on y ajoutait le gravier nécessaire, ou l'on construisait entièrement en neuf et l'ancien revêtement servait simplement de couche de base. Dans la plupart des entreprises, on n'avait pas de liant plastique convenable sur les lieux, même à la gravière, et on

fut forcé de se le procurer ailleurs. On mélangeait assez de matériel pour qu'il reste après tassement une couche stabilisée de 3 pouces; il fallait de cette façon 880 verges de gravier et de sable par mille pour une chaussée de 18 pieds de largeur. Pour maintenir la chaussée humide, on s'était d'abord servi exclusivement de chlorure de calcium que l'on épandait sur la route terminée, à raison de 1.5 livre par verge cube; on faisait ensuite des applications plus légères, plus ou moins fréquentes et importantes selon l'intensité de la circulation et les conditions atmosphériques. Dans les projets plus récents, on emploie ou le sel de calcium ou le sel ordinaire et on l'incorpore aux autres matériaux avant le mélange et l'épandage. On applique le chlorure de calcium à raison de 10 tonnes, et le chlorure de sodium à raison de 12 à 15 tonnes au mille.

On a dernièrement installé dans cet Etat des ateliers équipés pour préparer et mélanger les matériaux, et on a fait usage de ces mélanges dans plusieurs entreprises récentes, particulièrement là où il ne restait dans les vieux revêtements presque plus de gravier utilisable pour la couche stabilisée. Ces ateliers ne demandent qu'un outillage assez simple et fonctionnent économiquement, s'ils sont installés aux endroits convenables de façon à éviter les longs parcours dans le transport des matériaux à préparer et à mélanger. Ils offrent plusieurs avantages: ils donnent un mélange plus homogène; ils éliminent de la route l'outillage de construction et la gêne qu'il cause à la circulation; ils évitent les retards causés par le mauvais temps; ils mettent la construction des routes stabilisées à la portée des petites municipalités qui ne possèdent pas l'équipement nécessaire. Le mélange préparé à l'atelier contient tous les ingrédients requis, y compris la substance chimique destinée à régulariser la teneur en eau, et il est livré prêt à épandre sur la chaussée.

On a construit en Ontario depuis quelques années plusieurs tronçons de routes stabilisées; ils constituent plus de 200 milles et comprennent des routes provinciales et des chemins de comté et de canton. La plupart de ces tronçons étaient améliorés au gravier depuis nombre d'années. Là où il restait encore assez de gravier utilisable dans l'ancien revêtement, on le scarifiait et on n'y ajoutait que le gravier neuf requis pour stabiliser la largeur et l'épaisseur nécessaires. Dans d'autres cas, l'ancien revêtement a servi de base à une couche stabilisée constituée en entier de matériaux neufs. Sur quelques sections on a employé du calcaire concassé à la place du gravier. Dans certains projets, le sous-sol de la route était assez plastique pour servir de liant, mais dans la plupart des cas il a fallu se procurer le liant ailleurs. On avait cependant du liant argileux convenable à proximité des routes à stabiliser; de fait, le parcours moyen à faire pour amener le liant sur les lieux était moins long que pour le gravier. On a construit la couche stabilisée de 20 pieds de largeur et de 3 pouces d'épaisseur. Pour maintenir constante la teneur en eau, on a employé le sel ou le chlorure de calcium. On mettait dans le mélange de 12 à 15 tonnes de sel au mille; la proportion et le mode d'application du chlorure de calcium varient suivant le cas. Quelques sections exposées à une circulation plus intense ont reçu un traitement superficiel au bitume après avoir été soumises au roulement pendant plusieurs mois et même un an.

Dans la province de Québec, on a construit au commencement de l'automne 1935, entre Victoriaville et Princeville, un revêtement stabilisé d'une longueur de 10 milles. L'ancienne surface gravelée, déjà assez usée, a servi de base à la couche de roulement stabilisée pour laquelle on n'a employé que des matériaux neufs. On s'est servi de gravier de rivière concassé passant au tamis de 1.125 pouce; on l'a employé à raison de 1,000 verges cubes au mille pour une couche de 20 pieds de largeur et de 3 pouces d'épaisseur après le tassement. Comme liant on s'est servi d'une argile très plastique qui provenait d'un dépôt éloigné de 17 milles. Comme on en était au premier essai de stabilisation de routes, on a jugé bon de varier la proportion du liant dans les différentes parties de la nouvelle route et on a divisé l'entreprise en sections de 4,000 pieds de longueur. La proportion du liant argileux employé a varié suivant les sections de 100 à 130 verges cubes au mille, mais pour la majorité des sections, elle a été de 117 verges cubes au mille, quantité qui semblait la plus avantageuse d'après des essais au laboratoire. Dans une section, on s'est servi d'une argile rouge de la région, qui était moins plastique et qu'on a dosée à raison de 225 verges cubes au mille. On a mélangé le chlorure de calcium au taux uniforme de 8 tonnes au mille, excepté dans une section où l'on s'est servi de sel ordinaire à raison de 12 tonnes au mille pour une moitié et de 18 tonnes au mille pour l'autre moitié.

Dans d'autres localités de la province on a depuis 1935 construit des couches de base stabilisées avec du gravier, de l'argile et du sel. On a subséquemment recouvert ces tronçons d'une couche de roulement en béton bitumineux, généralement un an après confection de la base.

RÉSULTATS OBTENUS

Un trait saillant que l'examen des routes stabilisées a permis de constater est leur grande fermeté, ou pouvoir de résistance aux forces destructives du trafic et des intempéries, comparativement aux autres genres de revêtements à liant d'eau. Les quelques manques enregistrés au printemps, lors du dégel, ont été attribués à la mauvaise condition du sous-sol: un sol fin, fortement capillaire et difficile à drainer par les moyens ordinaires. Dans ces conditions, la substance chimique retenait un excès d'eau dans la couche stabilisée que l'action du roulement sillonnait d'ornières. Le drainage est essentiel dans tous les cas, mais il revêt une importance capitale pour les routes stabilisées, où la cohésion est si intimement liée à la teneur en eau. Pour obtenir le maximum de cohésion du film d'eau, on doit maintenir l'humidification de la chaussée au degré requis, comme on l'a vu plus haut.

Une autre caractéristique des routes stabilisées est leur surface lisse, comparable à celle d'un pavage. Le défaut superficiel le plus communément observé est la formation de petits trous ou dépressions, dits "nids de poule", que l'on rencontre surtout là où la pente transversale due au bombement est faible. Les travaux d'entretien ordinaire corrigent facilement ce défaut. Les "nids de poule" étaient nombreux dans certains tronçons, stabilisés en 1934 et 1935, et dont on a rapporté avoir négligé l'entretien depuis. On ne saurait trop insister sur l'importance de donner à ces routes le bombement approprié.

En faisant l'examen des défauts qui affectent la surface des routes stabilisées, on a remarqué qu'ils se trouvent presque toujours au centre de la chaussée, où la pente transversale due au bombement est faible, ce qui a fait penser qu'ils pourraient avoir pour cause un écoulement insuffisant des eaux de surface. Des recherches faites sur le sujet par l'Association du Chlorure de Calcium ("Calcium Chloride Association") de Détroit, Michigan, ont confirmé cette opinion. Le travail d'investigation consistait à mesurer en beaucoup d'endroits la pente due au bombement et à prélever des échantillons du matériel stabilisé de la route même. L'échantillonnage avait pour but de voir si les "nids de poule" n'étaient pas dus, comme on était porté à le croire, à un mélange ou à un tassement insuffisants dans certaines parties de la route. Les résultats des recherches, publiés dans le bulletin n° 23 de l'Association, montrent bien une relation entre l'état de la chaussée et son degré de pente transversale. On ne trouve cependant aucune relation entre la composition ou la compacité du mélange et l'état de la route, car les échantillons prélevés dans le même tronçon de route, les uns pris là où il y a des "nids de poule", les autres dans les parties non affectées, n'accusent aucune différence appréciable dans la composition ou dans le degré de tassement du mélange. On recommande pour ces routes un bombement en forme d'A légèrement arrondi au sommet et une pente uniforme minimum de 0.4 pouce au pied linéaire. Le bombement usuel en forme d'arc de cercle ou de parabole, dont la pente, nulle au centre, va en augmentant progressivement vers les accotements, convient très bien aux surfaces pavées bordées de caniveaux, mais il ne s'adapte pas bien aux surfaces stabilisées ou autres revêtements à liant d'eau, parce que la faible pente du centre ne permet pas un écoulement assez rapide des eaux, tandis que la forte pente près des accotements produit une sensation d'insécurité dans la conduite des véhicules et tend à concentrer la circulation sur la partie centrale de la chaussée. Le bombement en A élimine à peu près complètement la partie plate du centre et donne une pente uniforme du centre aux bords de la surface de roulement. On observe parfois des "nids de poule" au pied ou au sommet des rampes raides; ils sont dus à des efforts d'arrachement produits par les roues des véhicules lors de l'accélération rapide à l'approche de la montée ou de l'application des freins à la descente. La formation de ces trous est indépendante du bombement, et on y remédie facilement par un entretien approprié. Les "nids de poule" n'affectent pas d'une façon appréciable la fermeté de la couche stabilisée, à moins qu'on ne laisse aggraver cette déféctuosité en négligeant l'entretien, mais ils rendent désagréable la conduite des véhicules, particulièrement aux petites vitesses.

L'ENDUIT AU BITUME SUR LES ROUTES STABILISÉES

Parmi les routes stabilisées examinées au cours de notre visite, celles qui ont reçu un traitement superficiel ou une mince couche d'empierrement au bitume sont en excellent état. Dans certains milieux, on attache plus d'importance à ce genre d'amélioration qu'aux surfaces stabilisées non recouvertes, car les surfaces ainsi traitées présentent tous les avantages des routes pavées tout en coûtant beaucoup moins. Là où l'action du

froid est intense, comme au Canada et dans les états du Nord des Etats-Unis, le dégel du printemps constitue une cause grave de déformation et même d'échec dans les revêtements au bitume en couche mince. Toutes les routes stabilisées que l'auteur a examinées et dont la surface avait été traitée au bitume n'avaient que quelques mois ou un an d'existence, et celles qui avaient subi les rigueurs d'un hiver étaient en aussi bon état que les plus récentes. Il est probable que sous notre climat septentrional une plus longue période d'essai serait recommandable pour juger ce genre d'amélioration à son mérite. Un mélange moins plastique, comme celui qu'on prescrit pour une couche stabilisée qu'on doit recouvrir de bitume, tendrait à réduire au minimum tout dommage possible provenant de l'action du froid.

La confection d'une couche stabilisée qui doit recevoir un traitement de surface au bitume exige plus de soin que celle d'une couche de roulement non recouverte d'enduit, dans la détermination des quantités, en particulier celle du liant, et dans le malaxage, car on ne peut pas facilement remédier aux irrégularités ou défauts, une fois la couche de bitume posée. On effectue dans ce cas un plus faible dosage de liant d'argile, dans le but d'empêcher les changements de volume ou autres déformations préjudiciables que pourrait causer l'action de la gelée. Une plus petite quantité suffit d'ailleurs à maintenir le degré d'humidité dans les limites prescrites, car l'enduit bitumineux constitue une couche protectrice contre toute violation du degré d'humidité que pourraient occasionner les changements atmosphériques.

AVANTAGES ET COÛT

Pour juger à leur juste valeur les résultats des travaux de stabilisation, il faut tenir compte de ce que les entreprises ont coûté; autrement dit, on doit estimer les avantages qu'on en retire en tenant compte des dépenses faites. Pour ce qui est de l'infrastructure des pavés, les avantages sont si évidents que ce genre d'amélioration du sol est fortement à recommander pour toutes les entreprises de pavage: les frais, d'ailleurs minimes en proportion du coût du pavage, en sont plus que compensés par la fermeté du support qu'on assure ainsi aux pavés eux-mêmes. Lorsque la couche stabilisée ne sert que temporairement de couche de roulement, par exemple dans la construction par étapes progressives, il est généralement reconnu que la stabilisation constitue le premier pas logique vers l'amélioration de la route, puisqu'elle offre une base excellente pour les améliorations ultérieures et que le coût en est plus que compensé par le fait qu'elle nécessite une couche d'usure moins épaisse que les bases ordinaires non stabilisées. Un autre avantage que l'on réclame pour les bases stabilisées, c'est qu'elles sont moins exposées au soulèvement sous l'action de la gelée, et que le tapis d'usure qui les recouvre, qu'il soit constitué d'un simple enduit ou d'une mince couche d'agrégat au bitume, est moins sujet aux déformations. On admet généralement que le coût de la stabilisation des sols de fondement est plus que justifié par les résultats obtenus; mais on est loin d'être d'accord sur l'intérêt économique de la stabilisation des sols directement exposés à l'usure de la circulation.

Lorsqu'on étudie la question des surfaces de chaussée stabilisées, qui forment jusqu'à présent la plus forte proportion des travaux de stabilisation, il importe de ne pas perdre de vue que de telles routes sont essentiellement peu coûteuses; il convient aussi de comparer leur coût et leurs avantages particuliers avec ceux d'autres revêtements de catégories correspondantes. Il y a certains avantages propres aux routes stabilisées qui sont difficiles à évaluer en dollars, mais n'en ont pas moins une réelle valeur, entre autres l'absence de poussière tant appréciée des usagers et des riverains de la route. Comme la plupart des chaussées stabilisées, tant au Canada que dans la partie nord des Etats-Unis, sont des routes de gravier, il importe d'établir la comparaison entre les deux types de route gravelée, c'est-à-dire entre la route gravelée stabilisée et l'ordinaire, en particulier celle dont la couche superficielle n'est pas tassée, mais "flottante". Cette dernière est construite en vue de résister à la détérioration provoquée par la circulation rapide des voitures automobiles. Elle ne diffère de la chaussée gravelée ordinaire que par une mince couche superficielle de gravier meuble, qui agit comme tampon, amortit les choos des véhicules et atténue la dégradation qui peut en résulter pour le corps de la chaussée. Pour maintenir ces routes en bon état il faut un service régulier d'entretien, car sous l'action de la circulation le gravier meuble est continuellement déplacé et finalement rejeté sur les côtés. Là où il passe plus de 500 véhicules par jour il est nécessaire de racler les routes tous les jours pour répartir uniformément le gravier meuble sur toute la surface. On doit aussi faire usage de gravier dur pour obtenir une surface résistante, prévenir l'émiettement du matériel "flottant" et atténuer la formation de la poussière. Malgré tout le soin apporté dans le choix des matériaux et dans la confection, ces routes sont toujours poussiéreuses lorsqu'elles sont sèches, à moins qu'on ne leur applique des préventifs. Pour lutter contre la poussière, on emploie ordinairement le chlorure de calcium qui donne de bons résultats. L'expérience démontre, toutefois, que son effet est moins durable sur une route plus ou moins meuble et poreuse que sur une surface imperméable et bien compacte, telle que celle d'une route stabilisée.

Contraste avec la route de gravier ordinaire, la chaussée stabilisée présente une surface ferme, lisse et sans poussière, ce qui contribue à rendre la conduite des véhicules plus aisée et plus sûre. A noter également que la route stabilisée, grâce à son imperméabilité et au peu de variation de sa teneur en eau, souffre beaucoup moins des intempéries et du dégel du printemps. Les revêtements stabilisés sont exempts de matériaux meubles et partant ils exigent moins d'entretien que les routes qui ont une couche superficielle meuble. Les travaux ordinaires d'entretien comportent l'emploi de la niveleuse après les fortes pluies seulement, lorsque la surface est assez tendre pour se laisser travailler facilement, et de temps à autre, l'application d'un peu de chlorure pour conserver l'humidité. La forte cohésion et la grande compacité du revêtement stabilisé éliminent pratiquement la dispersion des matériaux de la surface sous l'action des vents, de la pluie ou du trafic. La stabilisation assure donc une économie dans les frais d'entretien par suite d'une réduction des travaux, en particulier du raclage et du nivellement, et d'une diminution considérable des pertes de matériaux de surface résultant de diverses causes. Lorsqu'on fait la comparaison avec les routes ordinaires, où l'on ne fait pas usage de préventifs contre la poussière,

on doit déduire des économies énumérées plus haut le coût du chlorure appliqué à la surface des chaussées stabilisées. Sans tenir compte de la plus-value de la route résultant d'un meilleur service, la stabilisation est économiquement justifiable si les économies réalisées dans les frais d'entretien arrivent à amortir le coût de l'amélioration avant qu'il ne devienne nécessaire de procéder à un rechargement. Par le coût de l'amélioration on entend le coût de la stabilisation d'une route de gravier déjà existante où aucun nouvel apport de gravier n'est nécessaire, ou, en d'autres termes, la différence entre les frais d'établissement des deux genres de routes. Il va sans dire que ces frais d'établissement peuvent varier beaucoup selon les circonstances locales; cette divergence du coût provient surtout de la longueur des parcours à effectuer pour amener les matériaux à pied d'œuvre.

Dans les entreprises de stabilisation citées plus haut et exécutées aux Etats-Unis et dans les provinces d'Ontario et de Québec, le coût a varié de \$300 à \$2,500 au mille et même plus. Le chiffre le moins élevé concerne la stabilisation de chaussées déjà gravelées de 16 pieds de largeur, sans emploi de nouveau gravier; quant aux autres chiffres, nous n'avons pas assez de renseignements pour établir la part des frais relatifs aux travaux de stabilisation proprement dits. L'entreprise qui a coûté \$2,500 comportait l'établissement d'une chaussée stabilisée, faite entièrement de matériaux neufs, d'une largeur de 20 pieds et d'une épaisseur de 6 pouces. La "Calcium Chloride Association", de Détroit, Michigan, donne dans son bulletin n° 22 les précisions suivantes sur le prix de revient de la stabilisation; y sont compris l'achat et l'addition du liant terreux et du chlorure de calcium de même que leur incorporation dans la chaussée gravelée déjà existante: dans l'Indiana, pour 130 milles de chemins ayant une largeur de 18 pieds le coût moyen a été de \$500 au mille; dans le Minnesota, la moyenne a été de \$562 au mille, pour des largeurs variant de 22 à 30 pieds; dans le Michigan, le coût, dans certains cas, n'a pas dépassé \$300 au mille pour des revêtements d'une largeur de 18 pieds. Le bulletin ne donne pas l'épaisseur de la couche stabilisée, mais on sait que dans le Michigan elle est de 3 pouces.

Un article de W. R. Collings et L. C. Stewart, de la "Dow Chemical Co.", Midland, Mich., paru dans l'"Engineering News-Record" du 21 juin 1934, fournit des détails sur plusieurs entreprises de stabilisation dans l'état du Michigan. D'après cet article la stabilisation seule, sans compter le coût d'agrégat nouveau, a coûté entre \$200 et \$400 au mille. L'achat, le transport et la préparation du liant d'argile avant le malaxage, représentent le tiers et même la moitié des frais de stabilisation. Le tableau suivant indique le volume du trafic, les charges annuelles d'entretien et les économies résultant de la stabilisation, pour ces divers projets:

Circulation. Véhicules par jour	Frais d'entretien avant la stabilisation	Minimum approximatif des économies après la stabilisation	Coût du chlorure de calcium après la stabilisation	Economies annuelles au mille
250— 500	\$250—\$ 500	\$125— \$250	\$125— \$175	0— \$125
500—1,000	400— 800	200— 400	150— 225	50— 250
1,000—1,500	600—1,000	300— 500	200— 250	100— 300

Comme il appert aux colonnes 2 et 3, on estime que la stabilisation diminue les frais d'entretien d'au moins 50 p. 100. Le chlorure de calcium coûte \$25 la tonne, épandage compris. Les économies réussies dans les frais d'entretien par suite de la stabilisation atteindraient donc dans deux à trois ans le coût de l'amélioration, sans tenir compte de la plus-value de la chaussée résultant d'un meilleur service.

Les données du tableau ci-dessus s'appliquent tout aussi bien aux routes stabilisées au chlorure de sodium ou autres substances chimiques, car les spécifications quant aux matériaux terreux et à la technique opératoire sont les mêmes dans tous les cas où il s'agit de routes gravelées. Les chiffres de la 4e colonne peuvent cependant varier, si l'on tient compte des différences dans le coût et la quantité requise des différents sels.

Avec une diminution estimative de 50 p. 100 dans les pertes de matériaux de surface occasionnées par l'usure ou par d'autres causes, il est raisonnable de supposer que la route stabilisée pourra durer, dans des conditions analogues, au moins deux fois plus longtemps que la route ordinaire, avant qu'il ne devienne nécessaire de procéder à un rechargement; elle devrait sûrement durer pour le moins aussi longtemps que la somme des économies dans l'entretien n'aura pas égalé le coût de l'amélioration. Comme l'obtention et la préparation du liant constituent l'item le plus important du coût, l'intérêt économique que présente la stabilisation d'une route gravelée ordinaire dépendrait dans la plupart des cas de la disponibilité d'un liant terreux convenable. Il en serait de même pour le projet comportant le gravelage d'une route non améliorée ou la réfection d'un revêtement usé, pourvu, toutefois, que la circulation soit assez intense pour que les économies dans l'entretien arrivent à amortir les frais de stabilisation après quelques années. Dans certains cas, par exemple dans les localités à population relativement dense, les avantages d'une chaussée compacte, lisse et sans poussière compenseraient seuls plus que le coût de la stabilisation.

CONSTRUCTION DES ROUTES STABILISÉES

Avant de procéder à l'exécution des travaux de construction proprement dits, il importe de faire un relevé des matériaux disponibles à proximité de la route à améliorer, d'échantillonner et de soumettre à l'épreuve ceux qui semblent convenir le mieux. On pourra ainsi dresser un état détaillé des quantités requises de matériaux d'apport, des parcours à effectuer pour amener ceux-ci à pied d'œuvre, et faire une estimation exacte du coût du projet. Cet examen préliminaire s'applique particulièrement aux argiles, vu que le coût des travaux de stabilisation dépend dans une large mesure de l'accessibilité d'un liant satisfaisant. Les autres matériaux, gravier, sable ou pierre de carrière, ont probablement servi auparavant pour le revêtement ou la réparation de routes locales de sorte que leur emplacement et leur qualité sont en général assez bien connus. L'état de l'argile joue un rôle important aussi dans les frais de stabilisation: par exemple, une argile moëte et fortement plastique exige beaucoup plus de manipulation qu'une argile sèche et sablonneuse pour atteindre l'état convenable au malaxage. L'argile plastique se pulvérisera plus facilement, si elle est extraite à l'automne et répandue sur le sol pour passer l'hiver au grand air.

Si l'on a besoin de nouveau gravier pour les travaux de stabilisation, on fera bien d'épandre l'argile sur le banc de gravier à l'automne: au printemps suivant, l'excavation du gravier et le malaxage pourront être combinés en une seule opération, car l'argile s'émiettera et se mêlera facilement au gravier en quelques coups de pelle mécanique. Là où le terrain est argileux, on peut obtenir un bon liant soit de la route même, soit des accotements ou des fossés. En pareilles circonstances, le gravier est souvent rare, et alors le coût de la stabilisation de la route dépend surtout du gros agrégat, à moins qu'il en reste assez sur la surface préexistante pour l'amélioration projetée.

ESSAIS ORDINAIRES

Telle qu'expliquée précédemment aux pages 3-5, la constitution des mélanges terreux de stabilisation est fondée sur leur classement granulométrique et leur indice de plasticité. Ces données sont déterminées au moyen de simples essais de laboratoire; c'est sur le résultat des essais qu'on établit les calculs qui fixent les proportions requises de chaque matériau en vue d'assurer au mélange les propriétés voulues. On trouvera dans la revue "Public Roads" de février 1935, ainsi que dans d'autres publications sur le sujet, une description détaillée de la pratique de laboratoire pour l'essai des agrégats et des liants. Ce qui suit n'est qu'un bref exposé de la façon de procéder.

En recevant l'échantillon, on le sèche, on le divise s'il est trop gros, et on enregistre le poids de la portion gardée pour les essais. Pour un échantillon de gravier, une quantité d'à peu près 3 kilos suffit; pour l'argile, 1 kilo. On passe l'échantillon par les tamis de 1 po. et de $\frac{3}{4}$ de po. et les tamis n^{os} 4 et 10; si nécessaire, on le broie au mortier pour émietter les mottes et détacher les fins qui peuvent adhérer aux plus gros éléments. On pèse la quantité retenue sur chaque crible. La partie qui passe au tamis n^o 10 est divisée en deux portions, et chacune de ces dernières est pesée avec soin. La première est mise en réserve pour les essais physiques, et l'autre est lavée sur le tamis n^o 200; la quantité retenue sur le tamis est séchée à l'étuve, et passée au tamis n^o 40; on note le poids de la portion qui passe à travers ce dernier tamis et celui de la portion qui y est retenue. On calcule par différence le poids de la matière entraînée par le lavage à travers le tamis n^o 200 (silt et argile). La conversion des poids en pourcentages donne:

	{ Retenu par le tamis de 1 po.	p. 100
	{ Passant au tamis de 1 po.;	
	{ retenu par le tamis de $\frac{3}{4}$ po.	p. 100
Gravier:	{ Passant au tamis de $\frac{3}{4}$ po.;	
	{ retenu par le tamis n ^o 4	p. 100
	{ Passant au tamis n ^o 4;	
	{ retenu sur le tamis n ^o 10	p. 100
Gros sable:	{ Passant au tamis n ^o 10;	
	{ retenu par le tamis n ^o 40	p. 100
Sable fin:	{ Passant au tamis n ^o 40;	
	{ retenu par le tamis n ^o 200	p. 100
Silt et argile:	{ Passant au tamis n ^o 200	p. 100

d'où l'on obtient les pourcentages cumulatifs en poids, tel qu'indiqué à la page 5.

La détermination des proportions relatives de silt et d'argile dans la portion qui passe au tamis n° 200 n'est pas nécessaire dans les essais ordinaires, mais elle est grandement à désirer lorsqu'il s'agit d'un liant d'argile. Cette détermination se fait sans difficulté par l'analyse à l'hydromètre. Pour cette fin il faut 50 grammes de matière qui passe au tamis n° 10, dans le cas d'un échantillon de liant; et 100 grammes, quand la teneur de la portion qui passe à ce tamis est forte en sable.*

Une fois l'analyse à l'hydromètre terminée, on procède au lavage sur le tamis n° 200. La portion retenue par le tamis est séchée et passée au n° 40; on enregistre les poids respectifs de la portion qui passe au tamis et de la portion retenue. Les poids sont ensuite changés en pourcentages suivant la méthode indiquée plus haut, ce qui donne des pourcentages distincts pour le silt et l'argile, comme dans l'analyse à l'hydromètre.

Les essais physiques à faire sur la partie de l'échantillon réservée pour cela comportent la détermination de la limite de liquidité et de la limite de plasticité.

La limite de liquidité se définit comme la plus faible teneur en humidité à laquelle le sol commence juste à devenir fluide, et elle s'exprime en pourcentage du poids du sol séché à l'étuve.

La limite de plasticité se définit comme la plus faible teneur en humidité à laquelle le sol peut être roulé en "fils" d'un huitième de pouce de diamètre sans s'émietter, et elle s'exprime en pourcentage du poids du sol séché à l'étuve.

La différence numérique entre les limites de liquidité et de plasticité est définie comme étant l'indice de plasticité. Comme son nom l'indique, l'indice de plasticité révèle les propriétés plastiques ou cohésives du sol. Plus ce chiffre-indice est élevé, c'est-à-dire, plus la différence est forte entre les limites de liquidité et de plasticité, plus le sol est plastique.

La portion de l'échantillon qui a été réservée pour les essais physiques est séparée sur le tamis n° 40, le tamisage alternant avec le broyage dans un mortier de fer. Le broyage a pour objet de défaire les petites mottes et de détacher les fins qui adhèrent aux grains plus gros. Il faut avoir soin d'introduire assez de matière dans le mortier pour éviter l'écrasement des particules. On enregistre le poids de la portion retenue au tamis. Après avoir bien mélangé la portion qui passe au tamis n° 40, on en prélève quelque 30 grammes que l'on met dans une capsule semi-sphérique en porcelaine. On y ajoute un peu d'eau et on malaxe bien le tout au moyen d'une spatule. La masse est alors pressée légèrement pour former une couche unie, épaisse de $\frac{3}{8}$ " au centre. Au moyen d'un outil spécial, on y pratique une rainure qui la divise en deux. Cette dernière doit pénétrer jusqu'au fond: le fond de la capsule doit être visible. Ensuite on donne dix petites secousses à la capsule avec la paume de la main ou à l'aide de quelque dispositif spécial. On réussit bien avec la main dès qu'on a acquis un peu d'expérience par suite d'essais antérieurs sur des sols connus. Si les deux moitiés de la masse arrivent exactement à faire le contact après les dix coups, la teneur en eau est égale à la limite de liquidité. Si le contact ne s'établit pas à la suite des dix coups, le sol est trop sec; il faudra lui ajouter de l'eau et le

* Pour une description de l'analyse à l'hydromètre, voir la note citée plus haut.

malaxer de nouveau. Lorsque le contact s'établit avant qu'on ait frappé les dix coups, le sol est trop humide, et l'on doit recommencer avec un nouvel échantillon. Pour prévenir le risque de dépasser la limite, ce qui oblige à recommencer l'expérience avec un nouvel échantillon, on n'a qu'à y ajouter l'eau petit à petit. Une fois la limite de liquidité atteinte, on détermine la teneur en eau en prélevant une petite portion du sol qu'on introduit dans un flacon à tare et qu'on sèche à l'étuve; on enregistre le poids avant et après la dessiccation.

Pour la détermination de la limite de plasticité, on met dans une capsule semi-sphérique en porcelaine à peu près 20 grammes de la portion de l'échantillon qui a passé au tamis n° 40; on malaxe avec la spatule tout en humectant graduellement jusqu'à ce que la masse soit devenue assez molle pour pouvoir se façonner en boule. Ensuite, avec les doigts, on roule la masse en fil sur une plaque de verre; lorsque le fil n'a plus que $\frac{1}{8}$ " de diamètre, on pétrit la masse de nouveau pour recommencer à rouler jusqu'à $\frac{1}{8}$ " de diamètre; cette opération est répétée jusqu'à ce que le fil commence à s'émietter. On place alors le sol émietté dans un flacon à tare et on le sèche à l'étuve; on enregistre le poids avant et après la dessiccation. La différence de poids indique la limite de plasticité, ou le pourcentage d'eau au-dessous duquel le sol cesse d'être plastique.

Une méthode plus rapide de déterminer les limites de liquidité et de plasticité consiste à lire directement sur une burette la quantité d'eau qu'on prend; on se dispense ainsi de l'étuve et de la balance sensible.

Pour obtenir la limite de liquidité, on mélange un échantillon pesant 33.3 grammes avec de l'eau distillée, prise d'une burette, jusqu'à ce que la masse paraisse légèrement en deçà de la limite liquide. On procède ensuite de la façon décrite plus haut. Lorsque la limite de liquidité est atteinte, sa valeur est égale à trois fois le nombre de centimètres cubes d'eau employés. De même, lorsqu'on emploie un échantillon de 33.3 grammes de sol pour déterminer la limite de plasticité, et que l'on prend l'eau d'une burette, le pourcentage d'eau qui correspond à la limite de plasticité est égal à trois fois le nombre de centimètres cubes d'eau ajoutés.

Pour être exacte la méthode par la burette exige que chaque essai ne se prolonge pas plus de quatre minutes et se fasse à l'abri des courants d'air, car toute évaporation qui se produit pendant les essais a pour effet de donner des résultats plus élevés que les vraies valeurs.

L'indice de plasticité est donc égal à la limite de liquidité moins la limite de plasticité.

$$IP = LL - LP$$

Le sens des expressions 'limite de liquidité' et 'limite de plasticité' sera peut-être précisé par la citation suivante, tirée de "Public Roads", numéro de mai 1936.

"Il se peut que des limites de liquidité élevées résultent de la capillarité, de pellicules adhérentes, ou d'une combinaison de ces deux causes. Supposons que des écailles de mica dépourvues de cohésion, de la terre spongieuse riche en diatomées, de l'argile colloïdale auraient toutes une limite de liquidité, disons, de 200. La limite de liquidité de divers mélanges de ces matériaux serait alors également de 200.

"Il n'en est pas ainsi des limites de plasticité. Les matériaux sans cohésion n'ont pas de limite plastique, ce qui signifie, en théorie du moins, que la limite de plasticité est égale à la limite de liquidité.

“Si l'on ajoute en quantités progressivement croissantes l'argile colloïdale aux diatomées, la limite de plasticité des mélanges s'abaissera jusqu'à environ 35, limite de plasticité de l'argile colloïdale pure. Ainsi, à égalité de limites de liquidité, plus la limite de plasticité est basse, plus est accusée l'indication de la présence de films cohésifs et d'argiles plastiques qui fournissent la cohésion.

“Un indice de plasticité qui dépasse 15 dénote un sol qui ne convient pas à la construction de routes constituées d'un mélange de matériaux terreux.

“La présence de substances nuisibles comme le mica, les diatomées et d'autres matières organiques se révèle par des limites de liquidité plus fortes que celles qui sont indiquées par la formule:

$$LL = 1.6 IP + 14$$

“Plus la limite de liquidité dépasse cette valeur, plus le sol est impropre à servir de liant, parce que trop spongieux et trop capillaire. Ces propriétés ne jouent pas un rôle préjudiciable, si l'on maintient en deçà de 35 la limite de liquidité.”

ROUTES DE GRAVIER STABILISÉ

Les méthodes de confection décrites ici s'appliquent particulièrement aux routes de gravier stabilisé, car presque tous les travaux de stabilisation exécutés jusqu'à présent au Canada comportent l'emploi du gravier comme gros agrégat. Lorsqu'on fait usage de pierre concassée, le procédé ressemble de très près à celui qu'on suit pour le gravier. Il sera plus loin question des agrégats fins et des sols non granuleux.

La préparation du sous-sol est un des plus importants travaux de la stabilisation routière. On examinera avec soin les endroits mous ou spongieux afin d'y appliquer le remède approprié. Là où le niveau hydrostatique se trouve à proximité de la surface, le sol doit être suffisamment surélevé pour assurer la fermeté en tout temps. On a déjà signalé plus haut l'importance capitale du drainage des routes stabilisées par liant d'argile et film liquide. Si l'essai préliminaire montre que le sol est apte à servir de liant, on aura soin d'en rassembler avec la machine raboteuse une quantité suffisante sur les bords de la route, et de le laisser sécher jusqu'à ce qu'on soit prêt à s'en servir. C'est lors de la mise au gabarit de la route que le rassemblement du liant terreux se fait le plus facilement. Les propriétés du sol, qui en affectent le pouvoir agglutinant, peuvent vraisemblablement varier en différents endroits le long de la route, et comme on ne peut constater ces différences par une simple inspection visuelle, il est nécessaire de soumettre le sol de la route à l'essai à intervalles assez rapprochés.

Les routes déjà gravelées ou empierrées forment d'excellentes bases bien affermies; on ne devrait pas les scarifier, mais les raboter juste assez pour faire disparaître les irrégularités de la surface. Si l'ancienne route de gravier ou de pierre n'est pas trop usée et qu'elle contient assez de gros agrégat, on ne la scarifiera qu'à la profondeur suffisante pour déchausser la quantité de matériaux requise pour la stabilisation. On ne doit pas poser les revêtements stabilisés sur des chaussées déjà bitumées, car la nappe bitumineuse entrave l'ascension de l'humidité nécessaire au bon état de la couche stabilisée. En temps sec, les roues des véhicules désagrègent facilement ces revêtements, parce que le manque d'humidité rend la cohésion insuffisante. Si l'ancienne surface au bitume ne peut plus être mise

en état de servir par l'entretien ordinaire, il est préférable de la défoncer et de stabiliser l'ancien agrégat par l'apport d'un liant terreux.

Les diverses méthodes en usage pour la construction de routes stabilisées se divisent en deux catégories: 1 — la méthode par malaxage sur la route même: 2 — la méthode par mélange dans une malaxeuse. D'après la première, on mélange les différents matériaux sur le lit de la route en utilisant divers appareils: herses, raboteuses ou machines spéciales. D'après la deuxième, on introduit les différents ingrédients dans une malaxeuse mobile à peu près comme pour le malaxage du béton. De fait, on a employé avec succès des bétonnières pour faire le mélange des matériaux de stabilisation. Le malaxage peut aussi être effectué dans des ateliers fixes convenablement situés au point de vue des transports; le mélange en sort tout préparé pour l'épandage et le roulage, et on le charrie à pied d'œuvre dans des camions. Dans certains ateliers pourvus de malaxeurs à pales rotatives, le liant d'argile peut être introduit à l'état humide, tandis qu'avec les malaxeuses courantes le liant doit être en état de pouvoir se pulvériser à la finesse requise avant le malaxage, qui s'effectue à sec. On a déjà signalé à la page 10 d'autres avantages qu'offrent ces ateliers fixes. Dans certains cas, le procédé du malaxage sur la route même est le seul pratique; par exemple, lorsque le gros agrégat provenant de l'ancienne route gravelée est utilisé pour la préparation du mélange de stabilisation.

Matériaux mélangés sur la route

Si la route existante contient assez de gravier pour fournir une couche stabilisée de la largeur et de l'épaisseur voulues, soit en général 20 pieds de largeur et 3 pouces d'épaisseur, on ne scarifie la surface qu'à une profondeur suffisante pour déchausser la quantité requise de gros agrégat, que l'on entasse au centre de la chaussée. Si la quantité existante n'est pas suffisante, on rassemble au centre tous les matériaux meubles et on comble le déficit par l'apport de nouveau gravier. Les quantités se déterminent en mesurant le tas. Naturellement une route non améliorée et une route dégradée par l'usure exigent un approvisionnement complet de gravier nouveau pour les travaux de stabilisation. S'il n'y a pas assez de sable, on comble le manque avec du nouveau sable que l'on entasse au centre avec le gravier. On est censé établir au préalable par des essais de laboratoire chacune des quantités nécessaires de gravier, de sable ou de liant. Il peut arriver par exemple, que la surface existante contienne assez de gravier pour la stabilisation, mais que le gravier, après examen au laboratoire, manque de sable. Il faudra alors apporter assez de sable pour combler le manque, à moins que le sable présent dans le liant terreux y suffise.

Le liant terreux, en quantité suffisante pour assurer au mélange la plasticité voulue, est alors déposé en tas sur chaque côté de la route, où on le laisse sécher. Si le sol de la route est assez plastique pour servir de liant, on le remonte à la raboteuse des accotements ou des fossés vers les bords de la route, où on le laisse sécher. L'addition d'une petite quantité de gravier facilitera la dessiccation du liant et sa pulvérisation.

Lorsque le liant est assez sec, on le répand et on le pulvérise avec divers instruments: rouleaux de forme spéciale, herses, raboteuses, qu'on emploie seuls ou en combinaison. Le liant terreux est ensuite entassé de nouveau sur les bords de la route lorsqu'il est jugé assez fin, i.e., lorsque le tout passe au tamis de 1 pouce, et 80 p. 100, au tamis de $\frac{1}{4}$ pouce. Si la route existante contient assez de gravier pour la stabilisation, on fera une économie de temps et d'effort en épandant le liant argileux sur la route même, pour le faire sécher et le pulvériser avec l'aide des instruments indiqués et celle du trafic. On scarifie alors la route à une profondeur suffisante pour déchausser la quantité de gravier dont on a besoin pour la stabilisation. La somme de travail nécessaire pour préparer le liant en vue du malaxage varie notablement avec les différents liants argileux. Certaines argiles sableuses, par exemple, se pulvérisent facilement quand elles sont sèches tandis que les argiles très plastiques, lorsqu'elles sont fraîchement extraites, doivent être remisées plusieurs fois avant d'être suffisamment pulvérisées pour le mélange.

Une fois le liant prêt pour le malaxage et entassé sur les bords de la route, le tas de gravier du centre est étalé sur la route, puis le liant des tas latéraux est répandu uniformément sur le gravier en même temps que la quantité nécessaire de substance chimique régulatrice de la teneur en eau: sel ou chlorure de calcium. Pour une couche stabilisée de 3 pouces d'épaisseur et de 20 pieds de largeur, on applique d'ordinaire le sel dans la proportion de 2 à 2.5 livres par verge carrée, soit de 13 à 16 livres par verge linéaire, et le chlorure de calcium dans la proportion de 1.5 livre par verge carrée, soit 10 livres par verge linéaire. On obtient une distribution longitudinale et un mélange plus uniforme des matériaux en épandant ceux-ci sur la route au moyen de caisses épandeuses.

On mélange alors la masse en la raclant graduellement avec la raboteuse d'un bord à l'autre de la route, jusqu'à ce qu'on juge le malaxage suffisant. Lorsque cette dernière opération est terminée, la mixture est alignée en cordons continus sur les deux bords de la route. On peut au lieu de suivre cette méthode, effectuer le mélange au moyen d'une machine mobile pour le malaxage et l'épandage: il s'en vend plusieurs modèles. Certains de ces engins cueillent les matériaux entassés et les font passer dans un malaxeur à mouvement continu; d'autres prennent les matériaux étalés sur la route et les déversent dans un malaxeur à axes rotatifs munis de pales. Ces machines travaillent sur une moitié de la route à la fois; elles déposent la mixture étalée et nivelée, prête à subir les opérations d'arrosage et de damage. Dans l'une de ces machines, le triple malaxeur à pales tournantes 'Jaeger', la bande niveleuse est portée par de longs traîneaux qui ne sont pas fixés au malaxeur; cet arrangement a l'avantage de niveler la couche indépendamment de toute irrégularité de la surface du sol.

Matériaux malaxés dans l'atelier fixe

Le mélange des matériaux peut se faire sur les lieux mêmes des travaux dans des malaxeurs comme ceux qui servent d'ordinaire pour les travaux en béton, ou dans des malaxeurs mobiles installés à la gravière, ou encore dans des ateliers fixes dont on choisit l'emplacement en tenant compte du trans-

port des matériaux nécessaires et de la livraison du mélange stabilisé. Le liant terreux doit subir une préparation préalable, c'est-à-dire qu'on doit le sécher et le pulvériser avant son introduction dans le malaxeur. Mais, comme on l'a déjà fait remarquer, certains de ces appareils fixes sont outillés pour ouvrir le liant à l'état humide ce qui rend leur production indépendante des intempéries. Lorsqu'on se sert de bétonnières ou d'appareils semblables, on estime la quantité de matériaux requise pour chaque charge de la même façon que pour le malaxage du béton, sauf qu'on n'ajoute pas d'eau. On s'épargnera beaucoup de déplacements pour amener les matériaux au malaxeur, si on les range en cordons continus le long de la route au lieu de les disposer en tas isolés. Dans les gravières outillées pour la préparation des agrégats broyés ou non, on pourra ajouter par alimentation continue le liant pulvérisé et la substance chimique à l'agrégat avant que ce dernier passe par les tamis. Au sortir des tamis, le tout est intimement mélangé. On ajoute alors de l'eau à la mixture, ou on la livre sèche sur le théâtre des travaux. Une installation de ce genre fonctionne très bien si le liant est assez sec pour se pulvériser sans difficulté, ce qui dépend de l'état atmosphérique.

Outillage d'un atelier fixe de malaxage.—La conception et l'outillage des appareils fixes destinés au malaxage des matériaux de stabilisation varient beaucoup selon que les matériaux d'apport sont plus ou moins accessibles et suivant l'état du liant; mais lors même que les circonstances ne sont pas trop favorables, l'outillage et l'installation de ces ateliers n'offrent pas de grandes difficultés. Le plus avantageux est de trouver le liant et l'agrégat ensemble, par exemple lorsque la couche de couverture du banc de gravier est formée d'un sol argileux assez plastique pour servir de liant. Pourvu que ce sol argileux ne soit pas trop dur ni trop collant, on peut en faire l'extraction et l'introduire directement dans le malaxeur après l'avoir passé sur une grille pour le débarrasser des cailloux et des mottes trop dures; on se dispense ainsi de l'outillage requis pour la dessiccation et la pulvérisation. Si, par contre, le liant et l'agrégat doivent provenir de sources différentes et éloignées l'une et l'autre, on devra d'abord décider de l'emplacement de l'atelier, qui sera près de la source du liant ou à proximité de la gravière. Règle générale, il est préférable de l'installer près du dépôt de liant, puisque la manutention et le transport du gravier sont plus faciles et coûtent probablement moins cher que ceux de la terre humide et collante. Mais il faudra aussi tenir compte dans son choix des facilités de chargement et de transport des matières premières et d'expédition du mélange fini.

On devra ensuite considérer l'état du liant terreux, surtout en ce qui concerne sa teneur en humidité. Lorsqu'on possède l'outillage approprié pour effectuer la pulvérisation, par exemple, des cylindres broyeurs ou désintégrateurs, on peut tolérer un certain degré d'humidité dans le liant terreux; mais une terre argileuse fraîchement extraite sera tout probablement trop humide pour se prêter à la pulvérisation, et on devra l'exposer au grand air pour abaisser sa teneur en eau. Pour cela l'argile sera déposée en tas en plein air par la pelle d'extraction. Une période pluvieuse prolongée risque d'accroître l'humidité dans l'argile au point de faire suspendre temporairement les opérations. Si la demande des mélanges stabilisés est assez

constante pour justifier l'action ininterrompue de l'atelier pendant la saison des travaux routiers, on peut éviter les retards occasionnés par les intempéries en érigeant un abri au-dessus des tas. On peut se dispenser du séchage au grand air et même de la pulvérisation dans certains cas, selon l'état des matériaux terreux du liant, à la source même d'approvisionnement.

Du tas d'emmagasinage le liant est hissé dans une trémie munie de vis transporteuses et de vannes régulatrices du débit à la sortie. De là, la matière est amenée au pulvérisateur sur une courroie sans fin. Des grues prennent le gravier et le sable des tas et les déversent dans des trémies. Il y a, au fond des trémies, des vannes qui servent à régulariser le débit sur les courroies sans fin. Cette régularisation permet d'obtenir un mélange uniforme malgré les faibles variations granulométriques des divers ingrédients. On ajoute à la main du sel ou du chlorure de calcium dans une trémie plus petite ayant au fond un appareil régularisant l'alimentation. Les matériaux sont finalement déversés par les courroies sans fin sur une courroie principale qui les amène au malaxeur. Ce dernier est formé d'une auge dans laquelle tourne un arbre muni de pales démontables. Ces pales sont inclinées en spirales à la façon d'une vis transporteuse de telle façon que le mélange est amené graduellement à l'extrémité où s'effectue l'évacuation. On peut régler la vitesse de l'arbre et l'inclinaison des pales, ce qui permet de maîtriser le débit et le degré de malaxage. Il est important d'avoir un malaxeur d'assez grandes dimensions, puisque le rendement de l'atelier dépend dans une grande mesure de la capacité du malaxeur. Une chaîne à godets déverse le produit fini dans une grande trémie de chargement.

Les frais de production du matériau stabilisé dans les appareils fixes dépendent surtout du prix des matières premières rendues à l'atelier, car ce prix constitue de 50 à 75 p. 100 du total des frais de production. Le reste représente le prix de la force motrice et de la main-d'œuvre, les frais d'entretien et la dépréciation.

On a fait, dans l'état du Michigan, l'installation de plusieurs ateliers fixes; nous en avons visité deux. La description, donnée plus haut, de leur outillage est basée, sur des renseignements recueillis lors d'un examen de l'atelier de la Dow Chemical Company, à Midland, Michigan.*

A cet atelier, le gravier provient d'une gravière située à 75 milles; il coûte \$1 la tonne rendue, soit 56 p. 100 du coût de la tonne de produit fini. Le coût de tous les matériaux, gravier, sable, argile et chlorure de calcium, équivaut à 71 p. 100 du total des frais de production.

Épandage et tassement

Le mélange achevé, qu'il ait été préparé sur la route même ou dans un atelier fixe, on l'épand sur la chaussée, on l'arrose juste assez pour le rendre plastique, puis on le soumet au tassement.

Avant d'y épandre le mélange stabilisé, on humidifiera bien la chaussée afin d'assurer une bonne liaison entre les deux et éviter que le sol sous-jacent absorbe une partie de l'humidité de la couche stabilisée. Comme on

*On trouvera une description circonstanciée de cet atelier dans un article intitulé "Plant Mixing of Stabilized Soil Road-Surfacing Materials", par L. C. Stewart et S. J. White, de la Dow Chemical Company, et publié dans le numéro de novembre 1935 de "Roads and Streets".

l'a noté ci-dessus certains malaxeurs mécaniques font l'épandage du matériau fini et le laisse prêt à recevoir l'arrosage et à subir le tassement. Il est important que le revêtement stabilisé acquière la compacité voulue dans toute son épaisseur; c'est pour cela qu'on doit le poser graduellement, en couches minces, et en tassant bien chaque couche avant d'épandre la suivante.

On arrose chaque couche juste avant d'épandre la suivante, afin d'obtenir une bonne liaison entre chacune et un degré d'humidité suffisant dans toute la masse. Du degré d'efficacité du fonctionnement de l'outillage qui servira au foulage, ou tassement, dépendront dans une large mesure la méthode suivie pour poser le revêtement stabilisé, le temps requis et l'épaisseur maximum de couche que l'on peut tasser en une seule opération. Il vaut mieux dans tous les cas ne pas chercher à épandre et à damer en une seule fois une couche de plus de trois pouces d'épaisseur.

Le but du tassement, ou damage, est de forcer les particules du mélange à s'entasser dans le moindre espace possible et partant de produire une masse d'une densité et d'une cohésion aussi grandes que possible. Vu l'état plastique du mélange, il faut en quelque sorte pétrir en même temps que comprimer celui-ci pour obtenir le résultat désiré. C'est pourquoi les cylindres lisses qu'on utilise d'ordinaire pour la compression des mélanges de pavage ne conviennent pas, à moins qu'on ne les emploie en combinaison avec d'autres appareils. Les cylindres dits 'pied-de-mouton', les cylindres d'une construction spéciale, les rouleaux à roues multiples et à bandages pneumatiques, et les camions à doubles roues, ou une combinaison de ces appareils, donnent de bons résultats. Lorsqu'on se sert d'une mixture préparée dans un atelier fixe, on recommande de procéder au revêtement en s'éloignant graduellement de l'atelier; de cette façon les camions passent et repassent sur une surface fraîchement posée, ce qui assure un premier entassement au moment propice, c'est-à-dire immédiatement après la pose. Quels que soient les moyens employés pour le tassement de la masse, celle-ci n'atteindra sa compacité définitive qu'après avoir été soumise pendant un certain temps à l'action du trafic. Tant que dure cette période de formation, la surface de la chaussée exige une attention spéciale: on aura soin de la maintenir humide et de remédier aux défauts aussitôt qu'ils apparaissent. Des soins attentifs apportés à la route pendant la période de formation dépendent dans une large mesure sa tenue et ses frais d'entretien lorsqu'elle aura atteint son degré de tassement définitif.

Dans certains cas, le tassement des matériaux est laissé au trafic seul. On fait l'épandage et l'arrosage d'une mince couche qu'on soumet ensuite au roulage du trafic. Quand la compacité de cette couche a atteint le degré voulu, on procède de la même manière à la pose d'une autre couche, et ainsi de suite jusqu'au parachèvement. Cette méthode a l'inconvénient évident de trop prolonger le délai de construction et la période de formation; on s'expose aussi à ce qu'advenant un temps pluvieux prolongé au début des travaux de construction, la mince couche stabilisée soit percée par endroits sous l'action de la circulation, et que le sol de l'infrastructure se mêle partiellement avec les matériaux de la couche stabilisée. On peut donc perdre facilement les économies réalisées dans l'opération du cylin-

drage ou foulage, si la température est défavorable et qu'on doive porter une attention plus qu'ordinaire à la route pendant la période forcément prolongée de sa formation.

ENTRETIEN

Une route stabilisée, si elle est bien construite et régulièrement entretenue au début, exige peu d'attention dans la suite. Il ne faut toutefois pas conclure qu'il n'est plus nécessaire de s'en occuper après la période de formation. A vrai dire, l'entretien durant cette période fait partie du programme de construction. Ce travail consiste à tenir la surface constamment humide et à la maintenir au gabarit avec l'outillage ordinaire d'entretien. Sous l'action de la circulation il peut se former des trous ou des ornières, etc. Si le passage de la raboteuse ne suffit pas pour niveler ces vides, on devra les combler par l'apport de mélange stabilisé préalablement humidifié, que l'on tasse par le cylindrage ou le foulage. Il peut arriver que la surface montre par endroits un excédent de matériaux fins ou de gros agrégat; en général, cela provient d'un épandage irrégulier ou d'un malaxage insuffisant pendant la confection. Un excédent de matières fines est facile à constater après une forte pluie; on corrigera en ajoutant du gravillon ou autre agrégat dont la grosseur ne dépassera pas $\frac{1}{2}$ po. et qui sera débarrassé, autant que possible, de sable et d'autres matières fines. Les sections qui montreront un excédent de gros agrégat seront couvertes d'une mince couche de mortier terreux que le roulage du trafic incorporera au revêtement, à la condition que l'humidité ne fasse pas défaut.

L'intensité et le volume de la circulation déterminent la fréquence des travaux d'entretien du revêtement, lorsque la période de formation est passée. D'ordinaire un léger rabotage ou nivelage, tous les mois, suffit. Quand la circulation dépasse 800 véhicules par jour, un entretien plus fréquent est recommandable. Les travaux d'entretien ne doivent se faire que lorsque la surface a été suffisamment ramollie par la pluie: en d'autres temps, la route est trop dure et toute tentative de rabotage reste futile. Après le dégel du printemps, alors que la route est encore humide, il faudra la soumettre à un rabotage complet et, au besoin, ajouter de nouveaux matériaux; ces derniers, s'ils sont assez humides, s'incorporeront à l'ancienne surface sans qu'on ait besoin de recourir à la scarification. Une route stabilisée, à condition d'être bien entretenue, s'améliore avec le temps. Toutes les matières meubles ou déchaussées disparaissent graduellement, et l'on a une surface unie, ferme et sans poussière. On ne devra pas tolérer sur la surface une trop grande quantité de matériaux déchaussés, car ils exercent un effet d'abrasion avec l'action du trafic. Lorsqu'il y en a très peu, on les rejette, à la raboteuse, sur les accotements où ils resteront jusqu'au printemps, alors qu'on les incorporera de nouveau à la surface. Lorsqu'il y en a au moins 50 verges cubes au mille, il faut ajouter assez de nouveaux matériaux, liant, sable et gravillon ou pierre broyée, pour recouvrir la surface d'une mince couche stabilisée. On peut, selon l'épaisseur de cette couche, en laisser effectuer le tassement par le roulage du trafic, ou bien faire le mélange et le foulage en suivant le même mode opératoire que pour la confection de la route.

ROUTES DE SABLE ET D'ARGILE STABILISÉS

Dans les régions où l'on ne peut se procurer facilement de gros agrégat, il est devenu pratique courante, depuis bon nombre d'années, d'ajouter de l'argile à un sol routier sableux, ou du sable à un sol argileux, dans le but de rendre la tenue de la route moins sensible aux intempéries. Dans notre pays ce genre de surface est quasi-inconnu; en effet, il y a du gravier, des cailloux et des affleurements rocheux un peu partout, d'où facilité d'obtenir les agrégats du calibre désiré. Sur certaines routes d'importance secondaire, on recouvre quelquefois de sable les tronçons glaiseux, et le mélange du sable et du sol argileux se fait graduellement sous la double action des travaux d'entretien et de la circulation des véhicules. Un nombre assez considérable de routes argileuses ont été recouvertes de sable plus ou moins graveleux, et sans qu'on ait cherché à utiliser le sol argileux pour donner plus de cohésion aux matériaux d'apport, les travaux d'entretien et l'humidité capillaire ont, avec le temps, entraîné assez d'argile dans la couche granuleuse de surface pour former un mélange gravier-sable-argile. Vu la proportion relativement forte de gros agrégat (ne passant pas le tamis n° 10) ces surfaces peuvent être considérées comme d'un type intermédiaire entre les routes de gravier et les routes de sable-argile proprement dites.

Dans certains états du Sud, on confectionne des routes à surface de sable-argile depuis plusieurs années; le réseau en est à l'heure actuelle fort considérable. Un grand nombre ont reçu un enduit superficiel destiné à les rendre plus résistantes à l'action abrasive de la circulation automobile. Les premiers travaux d'expérimentation fondés sur une étude scientifique des propriétés des sols, en vue de perfectionner la stabilité des revêtements routiers faits de matériaux terreux, ont utilisé des mélanges de sable et d'argile. Nous l'avons déjà dit au début, c'est en l'an 1906, dans l'état de Georgie, qu'on fit l'étude des revêtements routiers faits de mélanges de sable et d'argile, dans le but de déterminer l'effet de leur composition granulométrique, donnée par l'analyse au tamis, sur la stabilité et la viabilité des routes. Plus récemment, grâce à une connaissance plus étendue des sols, par suite d'une étude encore plus approfondie de leurs propriétés et de la façon dont ils se comportent en présence de l'eau, les principes établis dans la pratique de la stabilisation des routes à gros éléments granuleux ont été appliqués à des routes de sable-argile, en proportionnant les ingrédients selon leur composition granulométrique et la plasticité conséquent du mélange.

Bien que ces routes aient une assez bonne stabilité par tous les temps, elles ne résistent pas à l'effet abrasif du trafic au même degré que celles qui sont constituées de plus gros éléments. Comme nous l'avons déjà indiqué, la fermeté et la durée de ces routes augmentent lorsqu'on leur ajoute du gros agrégat, et elles continuent à augmenter avec les apports jusqu'à ce qu'on arrive au type de revêtement en gravier. Comme c'est le cas pour les routes en gravier stabilisé, la capacité de roulement des chaussées sable-argile augmente considérablement lorsqu'on leur applique un traitement superficiel approprié. Dans certains états, la plupart des travaux de stabilisation de routes sable-argile comportent uniquement l'établissement de couches de base, qui doivent, une fois bien tassées, recevoir un tapis d'usure.

Celui-ci consiste en un enduit superficiel au bitume sablé ou gravillonné, ou bien en une mince couche d'agrégat et de bitume mélangés sur la route même.

Dans une localité de l'état du Michigan où le sol sous-jacent est formé de sable fin, dont 95 p. 100 passe au tamis n° 40, ce sable a donné de bons résultats dans la confection d'une base stabilisée sable-argile de 5 pouces d'épaisseur, recouverte d'une couche d'usure de 2 pouces de gravier stabilisé. On prétend que les mélanges de sable et d'argile sont aussi bons que les graviers ordinaires pour la couche de base. Les mélanges sable-argile stabilisés servent également à la confection de terrains de jeu, de terrains de tennis, etc.

Les mélanges sable-argile ou autres mélanges similaires, dans lesquels l'agrégat fin est formé de criblures de pierre ou de scories, donnent de bons résultats lorsque leur classement granulométrique se conforme aux conditions suivantes:

Passant au tamis de $\frac{1}{4}$ ".....	90-100 p. 100
Passant au tamis n° 4.....	75-100 p. 100
Passant au tamis n° 10.....	55-100 p. 100
Passant au tamis n° 40.....	35-70 p. 100
Passant au tamis n° 100.....	25-45 p. 100
Passant au tamis n° 200.....	20-35 p. 100

La fraction qui passe au tamis n° 40 devra avoir un indice de plasticité compris entre 3 et 9 et une limite de liquidité qui ne dépasse pas 35. La fraction passant au tamis n° 200 devra représenter moins que les deux tiers de celle qui passe au tamis n° 40. Les meilleurs mélanges sont ceux qui contiennent une plus forte proportion d'éléments retenue sur les tamis à grosses mailles. Pour une couche de fondement ou de base on peut tolérer un mélange plus fin, pourvu que la fraction qui passe au tamis n° 200 représente moins que la moitié de celle qui passe au tamis n° 40, et que l'indice de plasticité soit proportionnellement plus faible qu'on ne le recommande plus haut pour une couche de roulement.

Les chaussées de sable et d'argile stabilisés, ou les autres routes semblables à éléments fins constituent une catégorie intermédiaire entre les chemins de terre et les routes de gravier, quant à leur durée et leur endurance, mais elles coûtent aussi cher que les routes gravelées à cause de la plus grande épaisseur qu'il faut donner à la couche pour assurer une stabilité suffisante: on recommande une épaisseur minimum de 6 à 8 pouces après tassement, ce qui exige entre 3,000 et 4,000 verges cubes de matériaux meubles au mille pour une route de 20 pieds de largeur. Mais le coût de ces routes ne paraît pas trop élevé, si l'on tient compte qu'elles sont construites dans des régions où l'on ne dispose pas de gros agrégat. Le coût des routes à liant terreux dépend dans une large mesure du coût des matériaux rendus à pied d'œuvre, et c'est le rendement obtenu par rapport aux déboursés qui indiquera, en fin de compte, s'il est préférable d'employer des matériaux de provenance locale ou de faire venir des matériaux de meilleure qualité, mais plus coûteux. Dans la construction des routes sable-argile, on utilise le plus possible les matériaux de provenance locale pour réduire les parcours et les frais d'établissement. A vrai dire, ces routes sont ordinairement construites sur un terrain formé de sable ou d'argile, en sorte

qu'un des ingrédients requis pour le mélange stabilisé se trouve sur les lieux mêmes des travaux. Dans certaines parties des Etats-Unis, la situation est telle que le coût des routes sable-argile est amplement justifié par leur rendement; dans notre pays, cependant, il n'y a pas lieu de prévoir un développement notable de ces routes, car les régions sont rares où elles peuvent représenter un avantage économique sur la construction des routes constituées d'éléments plus gros. Dans l'Ile du Prince-Edouard et dans la région des basses terres du Saint-Laurent dans la province de Québec, où le sable et l'argile sont les seuls matériaux de voirie facilement disponibles, il y aurait lieu de considérer les avantages économiques des routes en sable et argile stabilisés.

CONFECTION

Les méthodes suivies dans la confection des routes stabilisées faites d'agrégat fin ne diffèrent pas beaucoup des méthodes en usage pour les routes de gravier. Le cas le plus simple se présente là où il existe, à proximité des travaux routiers projetés, un dépôt mixte où le sable et l'argile sont dans les proportions voulues. On n'a alors qu'à extraire le matériau, l'amener sur les lieux et procéder immédiatement à l'épandage, à l'arrosage s'il le faut, et au foulage; de ce fait, on élimine l'élément le plus considérable des frais de construction, i.e., la préparation du liant et son malaxage avec le sable. D'ordinaire, cependant, le problème ne se présente pas de façon aussi simple, et on doit extraire le sable et l'argile obtenus de sources différentes. Nous avons déjà fait remarquer que, règle générale, on établit ces chaussées là où l'un des matériaux se trouve sur les lieux mêmes des travaux; de là, deux manières distinctes de procéder selon que le sol de la route est constitué de sable ou d'argile.

Quant il est d'argile, la surface est scarifiée assez profondément pour déchausser la quantité de liant d'argile requise pour le mélange. Cette argile est séchée et pulvérisée sur la route même: opération qui n'offre aucune difficulté quand le temps est beau et que la surface de la route est ferme. Lorsque les matériaux sont à point pour le malaxage, on aligne l'argile en cordons continus le long du chemin et on étend sur la chaussée une couche uniforme de sable ou de criblures de pierre, selon le cas. Ensuite, avec la niveleuse, on ramène de nouveau l'argile sur la route, et on mélange le tout à sec. Après la première grosse pluie, on saupoudre le mélange de sel ou de chlorure de calcium, on opère le malaxage pendant que les matériaux sont encore à l'état humide, et on nivelle pour mettre au gabarit. Pour le séchage, la pulvérisation et le malaxage, les méthodes sont les mêmes que pour les routes en gravier stabilisé.

Quand c'est le sable qui constitue le sol, on étend l'argile sur la chaussée en quantité suffisante pour stabiliser à la profondeur voulue. Ensuite l'argile est séchée et pulvérisée; c'est une opération souvent assez difficile selon l'état de l'argile et celui de la surface de la route; l'argile en mottes est extrêmement difficile à briser avec les appareils ordinaires et sur une surface de sable meuble, même par des manœuvres répétées. Une argile qui a passé l'hiver au grand air est beaucoup plus facile à pulvériser que fraîchement extraite. C'est pourquoi il est bon de faire l'excavation de l'argile à l'automne et de la déposer en cordons sur les accotements aussitôt

que la gelée aura suffisamment affermi le sable de la route. Au printemps, lorsque l'argile est juste assez sèche pour pouvoir se travailler facilement, elle est étendue sur la route, saupoudrée de sel ou de chlorure de calcium et mélangée, à l'état humide, avec le sable du sous-sol, par le passage répété de la niveleuse. Une fois le malaxage terminé, la masse humide doit subir un séchage partiel avant la mise au gabarit et le foulage; on la rassemble donc sur l'axe de la chaussée de manière à former une levée bien arrondie, où l'eau de pluie ne pénétrera pas. On aura soin de faire l'épandage du mélange au bon moment, i.e., lorsqu'il est encore assez humide pour subir un tassement initial sous l'effet de la circulation. Lorsqu'on est forcé d'utiliser une argile insuffisamment préparée et que les manœuvres répétées ne parviennent pas à briser les mottes du mélange, on peut toujours étendre celui-ci sur la chaussée et le laisser ainsi jusqu'au printemps suivant, alors qu'un autre malaxage brisera le reste des mottes et donnera un mélange parfaitement uniforme.

CONFECTION AVEC STABILISATEURS PERMANENTS

La plupart des expériences avec les stabilisateurs appelés insolubles ou permanents avaient en vue le traitement des sols à texture fine, en particulier les chaussées d'argile. Ces chaussées deviennent très molles et instables lorsqu'elles sont détrempées par la pluie, au point de devenir impraticables pour les automobiles. En ajoutant un sol granulé, en proportion appropriée, et en le mêlant intimement à l'argile, on peut rendre la stabilité de la chaussée moins sensible aux intempéries, si l'on a soin d'assurer l'égouttement des eaux de surface en tout temps. Là où ces matériaux d'apport font défaut, divers expérimentateurs ont tenté de rendre la tenue des routes d'argile insensible au mauvais temps par un traitement autre que l'apport de sols granuleux. Des expériences de laboratoire sur la terre argileuse de l'Alberta, désignée sous le nom de "gumbo", ont démontré que le traitement à la chaux donne de bons résultats en ce qu'il rend ces sols moins collants et en augmente la stabilité.* On s'est aussi servi de la chaux aux Etats-Unis pour le traitement de sols de voirie argileux. On a utilisé d'autres substances chimiques en vue d'altérer les propriétés de la matière colloïdale du sol et de rendre la stabilité de la route indépendante des changements d'humidité. Ces additions ont eu un effet bienfaisant, mais l'amélioration n'était que temporaire, car à cette époque on ne se rendait pas bien compte de l'importance d'un malaxage et d'un tassement suffisants, et de celle d'un enduit protecteur de la surface. L'objet de ces substances d'addition appelées stabilisateurs permanents ou insolubles n'est pas de durcir la masse, mais bien de la rendre hydrofuge et de maintenir par là la stabilité qui la caractérise à l'état sec. Il faut donc la recouvrir d'un enduit, ou tapis, pour parer à l'effet abrasif de la circulation. Au cours des sept dernières années, on a tenté nombre d'expériences avec le ciment Portland et des matériaux bitumineux en vue de la stabilisation des sols argileux.

* "Lime Treatment for Gumbo Roads", par J. G. Phillips; Investigations in ceramics and road materials, 1928-29, Pub. n° 722, Division des Mines, Ministère des Mines, Ottawa, Canada.

Les premiers essais de stabilisation de sols routiers au moyen du ciment Portland ont été tentés en 1933-1934 par l'état de la Caroline du Sud, où l'on a traité au ciment plusieurs tronçons de routes constituées d'argile sablonneuse. Avant de se prononcer définitivement sur la valeur d'un tel traitement, on a jugé nécessaire l'amélioration des méthodes de confection. Ces expériences montrèrent cependant que le ciment stabilise les sols d'une façon appréciable et annule pratiquement l'action préjudiciable des sols colloïdaux. Les résultats obtenus dans ces premiers essais ont été assez encourageants pour justifier la poursuite des investigations dans ce genre de stabilisation.

Depuis lors la Portland Cement Association de Chicago a fait beaucoup de recherches sur la stabilisation des sols au moyen du ciment. On a effectué au laboratoire un mode de procéder qui permet de constater si un sol donné peut se traiter au ciment d'une façon économique et de déterminer la quantité de ciment requise dans chaque cas pour fournir des résultats satisfaisants. On s'évite ainsi les déboursés considérables que nécessitent les expériences sur la route. Un autre facteur important qu'on détermine au laboratoire, c'est la teneur "optimum" en eau à laquelle le mélange sol-ciment peut atteindre sa plus grande densité par le tassement. On aura soin de déterminer exactement dans chaque cas ce facteur qui varie avec les différents sols, car le tassement à la densité maximum est une des opérations essentielles sur la chaussée pour obtenir une stabilité suffisante. Les services de voirie de plusieurs états ont confectionné des tronçons de routes au moyen de mélanges sol-ciment, dans le but d'observer l'effet de la circulation et de rendre plus efficace les méthodes de confection et le contrôle des opérations sur le terrain.

Les différentes opérations que comporte la confection de ces routes se résument comme suit:

On scarifie et on pulvérise le sol à la profondeur requise pour la couche stabilisée, qui ordinairement doit avoir une épaisseur de six pouces après tassement. On continue à pulvériser jusqu'à ce que 80 pour cent du sol, non compris les pierres ou cailloux, passe au tamis de 4 mailles.

On mélange le ciment avec le sable sec dans la proportion préalablement déterminée au laboratoire. Pour cette opération il n'est pas nécessaire que le sol soit parfaitement sec. Comme l'énonce le manuel de construction de la Portland Cement Association, "on peut très bien épandre et mélanger le ciment si la teneur en humidité du sol pur n'excède pas de plus de deux le pourcentage optimum d'humidité du mélange sol-ciment".

On humidifie le mélange jusqu'à ce qu'il atteigne sa teneur "optimum" en eau ou la dépasse légèrement, pour compenser les pertes par évaporation au cours des manipulations, en tenant compte pour cela de l'état atmosphérique.

On tasse le mélange en procédant de la partie inférieure de la couche vers le haut. On obtient ce résultat au moyen de rouleaux dits "pied-de-mouton". C'est le seul genre de rouleau qui permette d'obtenir une compacité uniforme dans toute l'épaisseur de la couche. On parachève la surface en cylindrant avec un rouleau ordinaire à jante lisse.

Pour empêcher l'évaporation de l'eau pendant que s'effectue l'hydratation du ciment, on recouvre la surface d'une couche protectrice de paille,

de foin ou de terre humide. On enlève la couverture au bout de 7 jours et on ouvre la route à la circulation.

Si l'on a en vue la pose d'un tapis au bitume, on attendra, avant de poser celui-ci, que la couche du mélange sol-ciment ait été soumise à la circulation pendant quelque temps, voire même un an.

Dans des expériences sur la stabilisation des sols argileux, on a utilisé récemment, en diverses régions des Etats-Unis, les goudrons, les huiles et les émulsions bitumineuses. Depuis quelques années, on a fait des recherches considérables sur la stabilisation des sols argileux par l'emploi de l'asphalte émulsionné; des projets entrepris à titre d'expérience, et où l'on a mis en pratique les principes établis au cours de ces recherches, donnent, rapporte-t-on, des résultats pleins de promesse. Le sol doit pour cela contenir au moins 20 p. 100 de fins passant au tamis n° 200 et 5 p. 100 d'argile colloïdale. Comme la quantité requise d'asphalte émulsionné est fonction de celle des fins passant au tamis n° 200, on ajoute des matières granulees quand les fins dépassent de beaucoup 20 p. 100, soit 30 p. 100. On réalise ainsi des économies appréciables dans le coût de la confection sur un sol très argileux, si on peut obtenir le matériel granuleux frais. Il existe pour chaque genre de sol une proportion idéale de stabilisant qui assure un maximum de stabilité; on devra déterminer ce pourcentage avec exactitude par des épreuves préalables, car un excès de stabilisant ne vaut guère mieux qu'une proportion insuffisante. Les essais des sols, tels que les épreuves de plasticité et l'analyse granulométrique au tamis et à l'hydromètre, se font de la même façon que pour la stabilisation avec liant terreux et film d'eau. On fait aussi des épreuves de stabilité et d'absorption d'eau sur des éprouvettes de sol non traité et de mélanges d'essai. C'est d'après ces épreuves que l'on détermine la quantité optima d'asphalte émulsionné: elle varie, selon le caractère du sol, entre 10 p. 100 et 20 p. 100 de la portion qui passe au tamis n° 200. Cette quantité est bien inférieure au minimum requis comme liant dans les mélanges de pavage. L'émulsion ordinaire à prise rapide qu'on emploie dans les mélanges de pavage constitués d'agrégats fins ne donne pas entièrement satisfaction pour les besoins de la stabilisation.

Les méthodes de confection ressemblent d'assez près à celles, déjà décrites, qu'on emploie pour les routes de gravier stabilisé avec liant d'argile et film liquide, sauf que le mélange s'opère à l'état humide. Cependant lorsqu'on ajoute du matériel granuleux au sol argileux, on le mélange à sec et, avant l'application de l'émulsion, on humidifie le mélange juste assez pour rester un peu en deça de la limite de plasticité. On confectionne graduellement la chaussée stabilisée par couches minces, en appliquant l'émulsion à chacune des couches. Afin d'assurer une pénétration plus complète et plus rapide de l'asphalte, on recommande la dilution de l'émulsion dans une proportion variant de 2 à 4 parties d'eau pour 1 partie d'émulsion. On parachève le revêtement avec un enduit ou mince tapis d'usure, constitué d'asphalte émulsionné et d'agrégat fin ou gravillon. La stabilité complète ne s'acquiert qu'après dessiccation parfaite, d'où la recommandation de ne pas établir le tapis tant que la base stabilisée n'a pas séché jusqu'au fond.

FONCTION DES SUBSTANCES CHIMIQUES D'ADDITION

Les substances chimiques servent à plusieurs fins dans les travaux de stabilisation routière. Les unes ont la propriété de retenir l'eau et servent à empêcher des variations trop prononcées dans la teneur en humidité et dans la cohésion des mélanges stabilisés. Les solutions d'électrolyte réduisent l'épaisseur des pellicules d'eau qui enrobent les particules du sol et permettent de donner aux mélanges stabilisés une plus grande densité par le tassement. Certaines substances jouent le rôle de matière d'impression ou de remplissage (*filler*) et augmentent l'adhérence des composés chimiques d'addition aux particules terreuses. D'autres encore, désignées sous le nom de neutralisants, contre-balancent l'acidité des sols et préviennent ainsi la perte de la substance chimique d'addition en empêchant leur décomposition par les matières acides. Un certain nombre de substances, appelées stabilisateurs insolubles ou permanents, empêchent les changements préjudiciables de volume que peut provoquer la variation de la teneur en humidité: elles détruisent de façon permanente les propriétés agglutinantes de l'argile et fournissent elles-mêmes la force de cohésion nécessaire au maintien de la stabilité.

Pour la rétention de l'humidité on peut employer des sels déliquescents. Ces sels ont la propriété d'absorber l'humidité de l'atmosphère et de retarder l'évaporation par suite de la plus faible tension de vapeur de leurs solutions, comparée à celle de l'eau pure. Des nombreux sels qui possèdent cette propriété on a utilisé surtout le chlorure de calcium à cause de son bas prix. On se sert depuis longtemps du chlorure de calcium pour combattre la poussière sur les routes à liant d'eau. Le long du littoral, on se sert de l'eau de mer pour les mêmes fins; la supériorité de cette dernière sur l'eau douce pour combattre la poussière provient des propriétés déliquescentes du chlorure de magnésium en solution. Sur des revêtements constitués d'agrégat bien calibré, on a constaté que les tronçons qui avaient été traités au chlorure de calcium pour supprimer la poussière étaient plus fermes et plus unis que les parties non traitées. On a attribué ce résultat à l'état légèrement humide que le traitement conservait au revêtement; ce qui a fait naître l'idée d'utiliser le même sel dans la stabilisation des chaussées par liant d'argile et pellicule d'eau. Grâce au calibrage plus soigné de l'agrégat et à la texture plus compacte du revêtement stabilisé, l'évaporation s'y effectue plus lentement et les effets du traitement au chlorure y sont plus durables que sur les chaussées ordinaires. On a cependant aussi fait usage dans ce but d'autres substances chimiques qui ne sont pas aussi hygroscopiques que le chlorure de calcium. De fait, toutes les solutions salines ont la propriété de diminuer la tension de la vapeur d'eau; elles ont donc pour effet de retenir l'humidité lorsqu'elles sont utilisées dans des mélanges de voirie stabilisés. On s'est servi surtout du sel ordinaire à cause de son coût peu élevé. C'est le sel ordinaire qu'on a utilisé pour la première route stabilisée confectionnée au Canada: un court tronçon gravelé, près d'Elmsdale (Nouvelle-Ecosse), a été stabilisé par l'addition d'argile et de sel en 1931, sous la direction de M. A.-R. Chambers, de New-Glasgow, Nouvelle-Ecosse. Depuis, l'usage du sel dans la stabilisation routière s'est répandu rapidement, tant aux Etats-Unis qu'au Canada.

Les chlorures de calcium et de sodium sont tous deux propres à maintenir l'humidité des routes stabilisées, tout en agissant d'une façon un peu différente par suite de la différence de leurs propriétés. Le sel de calcium est hygroscopique et se liquéfie en absorbant la vapeur d'eau de l'atmosphère; il conserve ainsi son état liquide dans la chaussée tant que l'état hygrométrique de l'air reste normal. La petite quantité d'eau qui pénètre dans la couche stabilisée par temps pluvieux entraîne la solution un peu en dessous de la surface; puis, à mesure que celle-ci s'assèche après la pluie, la solution se concentre par capillarité à la partie supérieure de la couche, où elle prévient toute évaporation ultérieure. Le chlorure de sodium est peu hygroscopique et il est moins soluble que le chlorure de calcium. On peut toutefois l'employer économiquement en plus grande quantité grâce à son coût peu élevé. Son rôle consiste surtout à conserver le tassement de celui-ci. A mesure que la surface de la route s'assèche, la solution de sel se concentre graduellement jusqu'à saturation, de sorte qu'il se forme à la surface de petits cristaux de sel. Ces cristaux bouchent les pores du sol, atténuent beaucoup les inconvénients du retrait et forment une sorte de croûte protectrice qui empêche une évaporation trop rapide. Par un temps sec, alors que l'évaporation s'effectue lentement, la formation de ces cristaux à l'intérieur de la couche stabilisée contribue à lui donner plus de dureté et de résistance.

Les solutions de chlorure de calcium, de chlorure de sodium, d'hypo-sulfite de soude et d'autres sels produisent, grâce à leur action électrolytique, un film liquide plus mince que celui de l'eau seule; ils permettent donc d'obtenir une plus forte densité et une cohésion plus parfaite du sol par le damage, ainsi qu'un gonflement et un retrait moindres. On regarde comme cause première de la rétention de l'eau la faible tension de vapeur des solutions qui diminue le taux d'évaporation à la surface de la chaussée, mais il est fort probable que l'action électrolytique des solutions joue aussi un rôle important dans la conservation de l'humidité. La texture plus serrée du sol, résultat d'une plus grande densité obtenue grâce à l'emploi d'électrolytes, contribue aussi à retarder l'évaporation. Un grand nombre de substances chimiques pourraient être utilisées comme électrolyseurs. On a tenté des expériences avec un certain nombre d'entre elles, mais, à l'exception du chlorure de calcium et du chlorure de sodium, leur usage n'a pas dépassé la phase expérimentale, à cause de leur prix trop élevé ou de quelque autre raison prohibitive. Dans l'industrie de la céramique, c'est un fait reconnu depuis longtemps que le sel ordinaire améliore certaines argiles.

Les matières d'impression et de remplissage (*filler*) sont employées pour assurer une meilleure adhérence entre les éléments minéraux constitutifs du sol et les substances chimiques d'addition, et dans le but d'obtenir de celles-ci le maximum d'effet utile. On se sert le plus communément pour cela de farine calcaire ou de chaux hydratée avec, comme matières d'addition, des sels chimiques ou des substances bitumineuses. On a utilisé des scories pulvérisées avec d'aussi bon résultats. Certains savons augmentent de façon notable l'adhérence des matières bitumineuses aux éléments terreux, s'il faut en juger d'après plusieurs expériences tentées en diverses régions des Etats-Unis. Bien que les matières de remplissage, ou 'fillers',

ne paraissent jouer, comme le nom l'indique, qu'un rôle purement mécanique, il se produit aussi une action électrochimique au sein de certains mélanges de nature minérale. Prévost Hubbard* a décrit en 1910 l'effet de mélanges rocheux en poudre sur la cohésion des revêtements routiers à liant d'eau. Le granit, la diabase, le chert, les scories et le mâchefer pulvérisés, ont été mélangés séparément avec de la chaux ou de la farine calcaire et l'on a constaté que le mélange accusait une puissance d'agglomération beaucoup plus forte que celle de l'un ou de l'autre des constituants considérés isolément. Le tableau suivant indique les résultats obtenus par le mélange de différents granits et calcaires:

Puissance d'agglomération (établie d'après la méthode de l'"American Society of Ceramic Engineers")

Granit	Calcaire	Mélange
3	27	110
9	22	56
7	26	38
7	26	53
6	20	82

Les sols acides présentent des inconvénients lorsqu'il s'agit de les stabiliser; si, en effet, ils contiennent assez d'argile, ils accusent une plus grande plasticité et une plus forte tendance au gonflement et au retrait que les sols neutres ou légèrement alcalins d'une teneur équivalente en argile. En outre, lorsqu'on utilise des substances chimiques pour obtenir une meilleure stabilité, il s'y produit des décompositions nocives, c'est-à-dire un déplacement de la base du sel employé et partant une perte de l'effet utile qu'on attendait de ce sel. L'acidité du sol peut naître de matière organique, comme l'humus acide, de sels inorganiques solubles comme les phosphates ou les sulfates, ou bien d'une accumulation de silice qui peut résulter de l'entraînement graduel par les eaux d'infiltration des bases des éléments constitutifs du sol. Pour contre-balancer l'acidité des sols et prévenir des réactions nuisibles, on les traite au moyen de corps alcalins, appelés neutralisants, telles que la farine calcaire, les scories basiques ou la chaux hydratée. Comme il est difficile de déterminer la quantité exacte qu'il faut pour neutraliser l'acidité du sol, le meilleur moyen est d'en employer un peu plus qu'il ne faut; cela aura en même temps pour effet de rendre le sol alcalin et de parer ainsi à toute substitution nocive des bases. Dans les pires cas, une livre de farine calcaire pure par verge carrée et par pouce d'épaisseur de la couche stabilisée suffira. On arrive au même résultat en utilisant une quantité moindre de chaux hydratée.

Les stabilisateurs insolubles ou permanents remplissent la fonction de liants et fournissent à eux seuls la cohésion requise, tandis que dans la stabilisation des revêtements à liant d'eau ce sont l'argile et le film d'eau

*"Dust Preventives and Road Binders", par Prévost Hubbard, John Wiley & Sons, Inc., New-York, 1910.

qui jouent ce rôle. Il va sans dire que les routes traitées au moyen de stabilisants insolubles sont tout-à-fait différentes des autres à liant d'eau puisque l'humidité n'est pour rien dans leur stabilité. Cette forme de stabilisation convient tout particulièrement aux sols argileux qui contiennent peu de matières granuleuses. Comme la fermeté des sols de ce genre est grandement influencée par leur teneur en eau, l'objet du traitement au moyen de stabilisants insolubles est de leur conserver en tout temps la stabilité qui les caractérise à l'état sec et compact. L'agglomérant insoluble enrobe les particules du sol et il annule l'action de la matière colloïdale, qui est cause de l'instabilité du sol et des changements de volume qu'il subit sous l'influence des variations de sa teneur en eau. A cause de l'absence de matières granuleuses les sols de voirie argileux, stabilisés par l'emploi de liants insolubles, manquent de résistance à l'action abrasive de la circulation; on doit donc les recouvrir d'un tapis protecteur, ou mince couche de roulement, que l'on confectionne de gravillons ou de criblures de pierre agglomérés par un liant bitumineux.

Depuis environ treize ans, on a mis à l'essai sur des sections de route expérimentales, aux Etats-Unis, un grand nombre de substances à titre de stabilisateurs permanents. Dans son numéro de février 1935, "Public Roads" en énumère quelques-uns, tels que la chaux hydratée, le poussier de carrière, les scories granulées, le ciment Portland, le chlorure de calcium, le silicate de soude, le kérosène, le goudron et les huiles bitumineuses, voire même les huiles lubrifiantes. Dans certains cas, on a utilisé quelques-uns de ces matériaux en combinaison; par exemple, on a combiné le silicate de soude avec le chlorure de calcium, la chaux, ou la farine calcaire pour former un stabilisant insoluble. Comme le fait observer la même publication, dans son numéro de mai 1936, "les résultats des premiers travaux ne promettaient pas beaucoup; seulement, il ne faudrait pas voir là un indice de ce que l'on peut attendre de ce traitement, car on ne se rendait pas bien compte au début de la nécessité qu'il y avait d'une répartition uniforme de la substance d'addition, d'un bon damage de la couche, et d'un tapis protecteur de la surface: conditions qui sont aujourd'hui toutes reconnues indispensables".

Le chlorure ferrique devrait bien s'adapter au rôle de stabilisant: c'est un coagulant actif des argiles et, moyennant certaines conditions, il passe facilement à l'état d'hydrate ferrique, qui constitue un puissant agglomérant.

On ne possède pas encore de renseignements précis sur le succès des stabilisants insolubles, sauf pour le ciment Portland et les émulsions bitumineuses, qui ont produit des résultats encourageants dans des essais de stabilisation routière, que nous avons cités ailleurs dans ce travail.

ROUTES SILICATÉES

Au milieu du siècle dernier, Frédéric Kuhlmann conseillait en France l'emploi du silicate de soude comme agglomérant dans la fabrication de la pierre artificielle. Entre 1900 et 1910, on a fait aux Etats-Unis quelques applications de silicate de soude pour lutter contre la poussière sur les routes empierrées au calcaire. Depuis environ quinze ans, l'emploi du silicate de soude pour améliorer la tenue des chaussées empierrées sous la

circulation des véhicules moteurs s'est généralisé dans plusieurs parties de la France, surtout dans les localités où les pierres disponibles sont de qualité médiocre.

Le silicate du commerce, ou verre soluble n'est pas un composé répondant à une formule chimique définie, car le rapport de SiO_2 à Na_2O peut varier entre certaines limites. Le verre soluble paraît être un composé hétérogène formé par de la silice en solution dans un ou plusieurs silicates de soude, et par une certaine quantité de soude libre; c'est du moins ce que révèlent les analyses chimiques et les déterminations des propriétés physiques faites par P. Deslandres* sur différents silicates sodiques vendus dans le commerce. Contrairement à l'opinion générale des débutants, l'amélioration du revêtement routier par le silicate n'est pas due, d'après divers expérimentateurs, à une réaction chimique, c'est-à-dire à un échange des bases entre le silicate de soude et le carbonate de chaux de l'agrégat calcaire. A ce sujet, Deslandres dit "qu'il n'y a pas en réalité d'action chimique entre le silicate de soude et le calcaire, mais une série d'actions surtout physiques amenant des transformations et des décompositions du silicate de soude initial et une séparation d'une partie importante de sa silice sous une forme insoluble et irréversible".**

Les routes silicatées présentent sur les empièvements ordinaires à l'eau plusieurs avantages: elles sont moins perméables et acquièrent une plus grande compacité par le tassement; les éléments pierreux sont plus fortement agglomérés entre eux et sont rendus plus résistants à l'usure, grâce à une imprégnation superficielle de l'agrégat par le silicate.

Presque tous les projets de silicatage en France concernent les empièvements calcaires. Les calcaires qui avaient les caractéristiques physiques suivantes ont fourni les meilleurs résultats:

Densité: 2.0 à 2.7

Porosité: 30 à 250 litres par mètre cube (3 à 25 p. 100)

Coefficient d'usure Deval: 2.5 à 8.0

Résistance à la compression: 400 à 1,600 kg. par cm. carré (5,690 à 22,760 liv. par pouce carré)

Parmi les pierres non comprises dans les caractéristiques précédentes, on doit rejeter celles qui sont trop tendres; on peut utiliser celles qui sont trop dures (calcaires ou non calcaires), pourvu qu'on leur adjoigne une matière d'agrégation plus tendre. Les impuretés de nature argileuse dans les pierres sont causes de réjection.

Les calcaires français utilisés pour les empièvements, du moins ceux qui entrent dans les entreprises de silicatage, sont classifiés en géologie comme appartenant aux époques Secondaire et Tertiaire; ils sont plus tendres et surtout plus poreux que les calcaires qui servent aux revêtements routiers dans l'Est du Canada, et qu'on classifie, en géologie, comme remontant au moins à la fin du Primaire. Parmi les calcaires de l'Est canadien, il y en a très peu qui soient assez poreux pour entrer dans les limites données ci-dessus.

* "Etude et recherches sur les silicates de soude routiers," publié dans le "Bulletin technique de la Route silicatée" du 15 février 1929.

** "Nature et qualité des matériaux entrant dans la construction des revêtements silicatés", article publié dans les "Annales des Ponts et Chaussées", III, 1929.

L'amélioration obtenue par l'emploi du silicate de soude rend ce genre de revêtement approprié aux localités pourvues de matériaux de qualité moyenne ou médiocre et où la circulation n'est pas assez importante pour justifier la dépense qu'occasionnerait l'approvisionnement en matériaux de meilleure qualité. Les revêtements silicatés conviennent particulièrement bien aux circulations modérément intenses. On peut augmenter leur résistance au roulement ou prolonger leur durée de service par un enduit superficiel à l'émulsion de bitume. On devra cependant prendre certaines précautions pour assurer à l'enduit une adhérence suffisante, par exemple, additionner l'émulsion d'un peu de silicate.

Contrairement à ce qui a lieu pour la pierre artificielle, que la silicate de soude agglomère et durcit d'une façon permanente, la proportion de silicate employée dans les revêtements routiers est tellement faible que son efficacité ne peut être considérée que comme temporaire. Il n'y a aucun doute, cependant, que l'on prolonge sa durée de service en protégeant la surface de la chaussée avec un enduit bitumineux.

LA STABILISATION DES SOLS ET L'AMÉLIORATION DES ROUTES CANADIENNES

En proportion de sa population le Canada possède un des réseaux routiers les plus considérables: plus de 400,000 milles de routes publiques, soit 200 pieds par tête de la population, sans compter les rues urbaines. En 1920, 7 p. 100 seulement du total avait bénéficié de travaux d'amélioration sous une forme quelconque; en 1935, ce pourcentage avait atteint 23. Des 96,400 milles de parcours, améliorés à la fin de 1935, il y en avait 88 p. 100 en gravier; les revêtements d'un genre plus résistant ne constituaient qu'une proportion de 6 p. 100.

La quantité toujours croissante de gravier utilisée dans les travaux d'amélioration routière au cours des 15 ou 20 dernières années est une conséquence de l'évolution du trafic. C'est à cause de l'expansion rapide de l'automobilisme qu'on a insisté de plus en plus sur la nécessité d'avoir une surface de chaussée pouvant servir à la circulation automobile par tous les temps. Afin de desservir le plus grand parcours possible de routes où l'amélioration s'imposait, et d'accommoder le plus de monde possible, il a fallu choisir un genre de revêtement peu coûteux, comme le revêtement à liant d'eau, qui suffisait d'ailleurs aux besoins de la circulation sur la plupart des routes. Dans l'Est canadien, le gravier s'adaptait très bien à ce genre d'amélioration, car on le trouve un peu partout, il est facile à extraire, et il résiste bien à l'usure. Grâce aux méthodes perfectionnées de confection routière, au choix de graviers durs et au triage approprié des ingrédients par broyage et criblage, les routes gravelées, à la condition d'être bien entretenues, peuvent supporter une circulation assez intense, même de 500 à 800 véhicules par jour. Mais plus la circulation s'intensifie, plus les frais d'entretien montent; et quand la moyenne de circulation quotidienne dépasse 500 voitures, un entretien de tous les jours devient nécessaire à la bonne tenue de la chaussée et à la sécurité de la circulation rapide.

Les applications à la surface des routes de diverses matières, dites liantes, en vue d'obtenir une plus forte cohésion de la chaussée, d'accroître

sa résistance à la désagrégation sous l'action du trafic, et de réduire les dépenses d'entretien, ne fournissent pas de résultats durables parce que leur action cohésive ne pénètre pas assez profondément dans le corps de la route. On obtient cependant une bonne cohésion en utilisant certains liants artificiels, tels que les matières bitumineuses, mais au point de vue du prix de revient comme de la durée, les chaussées ainsi traitées occupent un rang intermédiaire entre les revêtements à liant d'eau et les pavages. Les agglomérants utilisés dans les routes à liant d'eau, comme l'argile, la farine calcaire et d'autres, donnent des résultats plus durables lorsqu'on les mélange avec l'agrégat même de la chaussée et qu'on ne les étend pas simplement à la surface; leur efficacité est encore plus grande avec des agrégats bien calibrés. Un tel mélange, bien damé et humidifié au degré optimum, fournit un revêtement qui possède toutes les caractéristiques d'une route stabilisée et qui constitue véritablement une route stabilisée, sauf qu'il n'y a pas de substance chimique pour retenir l'humidité. Les chaussées stabilisées à liant d'eau supportent mieux la circulation des véhicules et coûtent moins d'entretien que tout autre revêtement de même catégorie.

EMPLOI DU GRAVIER ET DU DRIFT GLACIAIRE

La stabilisation par liant d'argile et film d'eau des revêtements routiers gravelés ou empierrés semble devoir très bien répondre aux besoins du pays, surtout dans les provinces de l'Est. La stabilisation des routes gravelées en particulier pourrait rendre des services plus considérables, en proportion du coût, que les autres genres d'amélioration. Nous avons déjà souligné que, sur la plupart de nos routes, le trafic n'est pas assez intense pour justifier le recours à un revêtement plus coûteux que la couche de roulement à liant d'eau. On a les matériaux nécessaires, gravier, sable et argile, à peu près partout. La stabilisation permet, dans le choix des matériaux nécessaires à la confection des revêtements, une plus grande latitude que les méthodes de construction usuelles. Pour ne parler que du gravier, constatons qu'un gravier dur et sableux se tasse difficilement dans un revêtement construit d'après les méthodes usuelles, mais qu'il n'offre aucune difficulté de cette sorte dans un mélange stabilisé. Ces graviers fins sont très communs dans l'Est canadien, plus abondants même que le gravier de la grosseur requise dans les méthodes ordinaires de confection des chaussées.

Un autre matériau commun, l'argile à blocs ou drift glaciaire, considéré jusqu'ici comme impropre à la confection des revêtements de chaussée, peut très bien servir dans un mélange stabilisé. Le drift glaciaire est utilisé pour les ouvrages de fondation et les remblais, car il acquiert une grande fermeté au tassement, mais il ne convient pas à la confection des revêtements routiers à cause de sa composition granulométrique: c'est un mélange de galets ou cailloux et de matière terreuse riche en silt ou en argile, avec relativement peu d'éléments du calibre approprié aux travaux de revêtement. Il se comporte sur la route comme les sols finement divisés, c'est-à-dire que la tenue de la chaussée est très sensible aux intempéries.

On peut par un traitement approprié l'améliorer au point de le rendre apte aux usages routiers, et son utilisation dans les mélanges stabilisés mérite considération. Les argiles à blocs, comme les graviers, ne conviennent pas toutes aux travaux de voirie, mais il suffirait d'une simple opération de broyage et de triage pour en rendre plusieurs utilisables dans les revêtements stabilisés. A cause de sa texture plus serrée, le drift glaciaire a été moins exposé aux agents d'altération et il est par conséquent de ce chef plus frais que la plupart des graviers. Par suite de la forte proportion de gros cailloux qu'il renferme, il acquiert au concassage un plus grand pourcentage d'éléments anguleux que le gravier. Le broyage l'améliore aussi considérablement au point de vue granulométrique puisqu'il augmente dans une forte mesure le pourcentage de fragments de dimensions requises dans les travaux de voirie.

Il se peut que le drift glaciaire contienne assez de glaise pour avoir le degré voulu de plasticité, ce qui dispense de l'apport d'un liant argileux. De toute façon, on pourra employer moins de liant que pour le gravier, car le drift après broyage a une composition granulométrique plus conforme au dosage requis pour obtenir le maximum de densité et de stabilité que celle des graviers stratifiés, concassés ou non. Les gisements de drift glaciaire sont plus difficiles à exploiter que les bancs de gravier, car le drift a de sa nature plus de cohésion que le gravier, et pour son extraction à la main il faut souvent recourir à la pioche. La présence de larges blocs constitue aussi un obstacle à l'exploitation. L'excavation mécanique de l'argile à blocs ne devrait pas offrir plus de difficulté que celle de l'argile plastique. En préparant l'argile à blocs pour les revêtements routiers, il est indispensable de la passer au broyeur dans presque tous les cas, si l'on veut obtenir un produit satisfaisant. Les dépôts de drift, bien que moins fréquents que ceux de gravier, ont beaucoup plus d'étendue. En maints endroits de l'Est canadien, le drift est beaucoup plus commun que le gravier; le long de plusieurs routes, on peut observer des dépôts de drift qui se prolongent sans interruption sur une distance de plusieurs milles.

A la suite des progrès rapides de l'exploitation des richesses minières du nord et de la demande toujours croissante de grandes routes pour relier ces régions aux centres plus anciens du sud du pays, la nécessité s'impose de plus en plus d'ouvrir et d'améliorer des routes, qui sur la plus grande partie de leur parcours traversent des régions boisées et à peu près inhabitées. Dans ces conditions, il n'est pas pratique de s'éloigner du tracé pour aller à la recherche de matériaux appropriés pour la confection du revêtement. L'établissement d'un revêtement stabilisé, cependant, permettrait une plus grande latitude dans le choix des matériaux qui se trouvent tout près du tracé de la route. Le drift glaciaire peut être appelé à jouer un rôle important dans l'amélioration de ces routes par le procédé de la stabilisation.

INFLUENCE DU CLIMAT

La stabilisation aurait pour effet de restreindre les dommages que le climat fait aux chaussées. Au Canada, les basses températures de l'hiver suivies du dégel du printemps constituent pour nos routes une épreuve particulièrement rigoureuse, qui affecte les pavages et les revêtements durs

aussi bien que les surfaces et les bases à liant d'eau. L'excès d'humidité par temps pluvieux, de même que le manque d'humidité dans les sécheresses prolongées, causent l'instabilité des revêtements à liant d'eau. Des mélanges bien dosés granulométriquement et bien damés, tels que ceux dont se composent les routes stabilisées, tendent à conserver l'humidité déjà présente et à prévenir la pénétration de l'eau de pluie dans la couche stabilisée. L'addition de substances chimiques solubles rend encore plus efficace le contrôle de la teneur en humidité. Les substances chimiques solubles ont aussi la propriété d'abaisser le point de congélation de l'humidité retenue dans le sol, ce qui peut fournir une bonne méthode de prévenir les soulèvements provoqués par le gel. Pour notre pays, où l'action du froid est si intense, c'est là un point d'une importance toute spéciale. On a obtenu déjà avec le sel ordinaire des résultats encourageants dans la protection des routes, des pavés et d'autres constructions contre tout dommage résultant de la gelée.

AMÉLIORATION DES ROUTES PAR ÉTAPES PROGRESSIVES

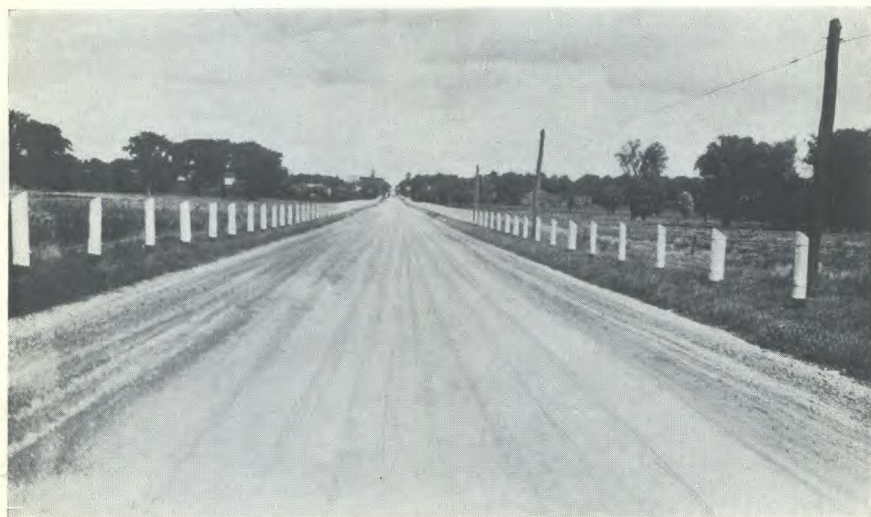
La stabilisation des routes en permet l'amélioration par étapes, selon les besoins du trafic; cette méthode s'appelle la confection progressive. Avec le système courant d'amélioration des routes, lorsque l'intensité de la circulation atteint un point tel que l'entretien d'un revêtement gravelé devient par trop onéreux, on est forcé d'avoir recours au pavement. En effet, un enduit bitumineux sur un revêtement gravelé ordinaire est trop mince et trop flexible pour offrir une protection suffisante contre l'action d'un lourd trafic; il en résulte des mouvements et des déplacements des éléments de la base, ce qui provoque des déformations dans la surface bitumée. Par contre, une couche de gravier stabilisé rendue compacte par le tassement possède assez de stabilité interne pour résister aux déformations que peut provoquer le roulement. Lorsque la circulation est assez intense pour causer une usure excessive, un mince enduit au bitume appliqué sur le revêtement stabilisé offre une protection suffisante. Une mince couche d'agrégat au bitume mélangé sur place protège encore plus efficacement contre l'usure. Plus tard, si besoin il y a, on pourra avoir recours au pavement. Ainsi donc, dans cette méthode de confection progressive, on a déjà une base solidement établie pour chaque amélioration successive de la surface.

En terminant, on peut répéter que l'un des grands avantages de la stabilisation routière est qu'elle s'adapte facilement aux exigences locales. Dans l'Est canadien, les routes gravier-argile stabilisées seraient tout probablement les plus économiques, vu l'abondance qu'on a des matériaux nécessaires à leur confection. Le choix des matériaux et l'exécution des travaux demandent un bon jugement plutôt qu'une grande adresse ou une technique perfectionnée: on pourra donc employer la main-d'œuvre locale dans la même mesure que pour les travaux de voirie ordinaires. Parmi les substances chimiques destinées à donner une meilleure stabilité, on a jusqu'ici utilisé presque exclusivement le sel ordinaire et le chlorure de calcium parce qu'ils s'adaptent bien à cet usage et sont peu coûteux. On peut obtenir le chlorure de sodium dans toutes les provinces, sous la forme de

sel gemme, de sources salées ou d'eau de mer. A l'heure actuelle, on exploite des gisements de sel gemme pour la production de diverses qualités de sel. Il y a aussi aujourd'hui dans la province d'Ontario une compagnie productrice de chlorure de calcium. La farine calcaire et la chaux hydratée sont les neutralisants les moins coûteux pour le traitement préparatoire de sols acides, et on les fabrique dans beaucoup d'endroits au pays. Dans les carrières de pierre, le calcaire pulvérisé est souvent un produit de rejet. La farine calcaire s'emploie quelquefois comme matière de remplissage (filler) ou comme liant dans les mixtures stabilisées, surtout lorsque les liants terreux sont rares. Le sulfate de soude est considéré comme un bon préventif contre la poussière et peut trouver son utilité comme matière d'addition dans la confection des routes stabilisées. Il en existe de grands gisements dans certains districts de l'Ouest canadien, où son utilisation dans les travaux routiers serait probablement moins onéreuse que celle d'autres substances chimiques et ferait du même coup profiter l'industrie locale.



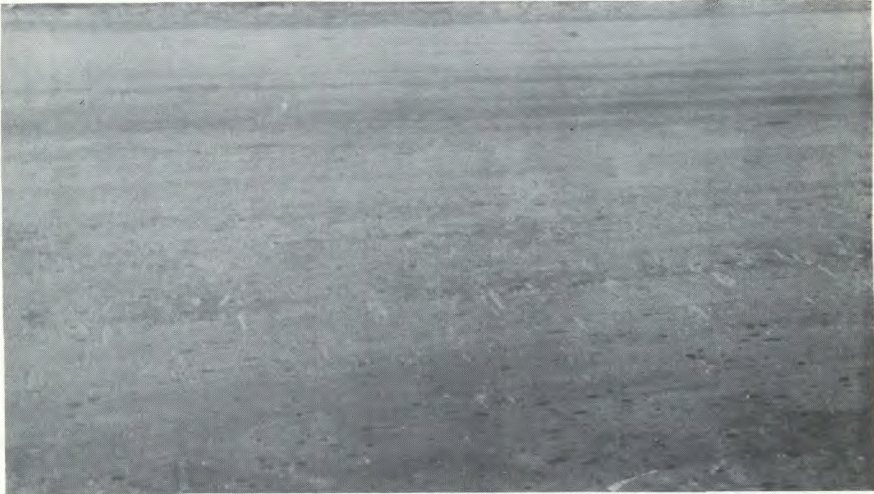
A. La surface des routes stabilisées est unie: route traitée au chlorure de sodium (Schomberg, Ont.).



B. La surface des routes stabilisées est unie: route traitée au chlorure de calcium (près de Wingham, Ont.).



A. Une route traitée au chlorure de sodium blanchit par temps sec (Photo prise à l'est de Port Carling, Ont.).



B. Illustration de la résistance des routes traitées au chlorure de sodium: les roues des tracteurs n'en marquent pas la surface (Brechin, Ont.).



A. La surface d'une route stabilisée vue de près: route traitée au chlorure de sodium (Cookstown, Ont.).



B. La surface d'une route stabilisée vue de près: route traitée au chlorure de calcium (entre Huntsville et Dwight, Ont.).

