Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 106 (1955)

Heft: 11

Artikel: Considérations sur l'évolution des techniques de construction de routes forestières et réalisation d'un type forestier moderne dit : "Compactage aux Composols"

Autor: Schaltenbrand, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-764554

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

106. Jahrgang November 1955 Nummer 11

Considérations sur l'évolution des techniques de construction de routes forestières et réalisation d'un type forestier moderne dit: «Compactage aux Composols»

Par *W. Schaltenbrand,* inspecteur des forêts, Porrentruy

A. Du sentier à la route au hérisson

Oxf. 383.1 (38.3)

Dans le patrimoine forestier public non desservi, nous rencontrons encore souvent des sentiers et des chemins à glisse liés à un mode d'exploitation forestière d'un temps passé qui diffère beaucoup de celui d'aujourd'hui. Le transport du bois de feu et du bois de papier se fit sur ces chemins à glisse tandis que les bois de service furent très souvent tout simplement dévalés aux abords des chemins carrossables pour être acheminés à une scierie ou à une gare, sans se préoccuper du dommage à causer au massif restant et aux plantes descendues.

La méthode d'exploitation forestière d'aujourd'hui, par contre, doit s'appuyer, en général, sur un réseau de chemins carrossables permettant le transport du bois de la forêt au lieu de consommation par traction automobile.

L'on sait aussi que la construction d'un réseau de sentiers s'avère des fois nécessaire pour rendre le périmètre forestier accessible et dans lequel certains travaux importants doivent être exécutés.

Le sentier, s'il ne sera pas construit spécialement, peut aussi se dessiner petit à petit par le passage du gibier et de l'homme, deviendra un jour un chemin primitif.

L'utilisation du chemin primitif de terre avec chars ne peut être envisagée que par temps sec ou gelé, mais recouvert d'une couche de gravier d'une certaine épaisseur, constitue déjà une amélioration notable.

Selon nos historiens, la construction des premières routes remonte dans le passé à une époque très lointaine. Les différents profils en travers furent exécutés selon l'époque et les pays.

Les Romains construisirent — selon l'importance — des routes de une jusqu'à quatre voies (1), c'est-à-dire de 1,77 m à 7,65 m de largeur, avec des épaisseurs variant de 1 à 1,40 m (combinaison de dallage en pierres

plates au fond noyé dans le mortier, avec pierres cassées, marnes et graviers, etc., et même des routes pavées).

Ces épaisseurs furent à la suite modifiées et réduites à 50—70 cm.

L'ingénieur français Trésaguet (1) inventa en 1775 une nouvelle méthode de construction de routes qui consista à faire exécuter des fossés latéraux plus profonds que le niveau de la chaussée dans le but d'assainir le sous-sol. Ensuite la pose d'un empierrement de 15—25 cm à la main, non pas à plat, mais de champ bien calé et bloqué. Cet empierrement fut recouvert de pierres battues, cassées à la masse, et d'une dernière couche de 7,5 cm de pierres dures, cassées à la grosseur d'une noix.

C'est seulement vers la fin du XVIIIe et au début du XIXe siècle que l'on construisit systématiquement des routes. Sous Napoléon, la France devint le champion, le pays classique du génie routier, construisant «les routes nationales». En Angleterre, en 1820, l'ingénieur John MacAdam édicta des prescriptions pour la construction de routes sans empierrement, processus appelé en son honneur «Macadam-Mortier». Ses données préconisèrent à employer en couches successives des pierres concassées de 60 mm propres et compactées pour former des chaussées résistantes qui furent stabilisées au liant hydraulique, routes, qui à la campagne d'Angleterre, ont conservé jusqu'à présent toute leur valeur.

Le système dit «classique», avec empierrement de 15—25 cm recouvert d'une couche de gravier de montagne ou de pierres concassées avec esquilles plus ou moins épaisses ou sable marneux, fut employé jusqu'à ces jours dans nos forêts.

B. Du hérisson à la route moderne

L'on prétend que l'empierrement de nos chemins forestiers constitue une voûte bien liée, cependant, ce sont alors les piliers qui font défaut. La charge du véhicule est transmise au sous-sol de fondation seulement par une étroite bande d'empierrement correspondant à la largeur des bandages des roues (cercles métalliques, pneumatiques). C'est la raison pour laquelle la pression par cm² exercée par le poids transporté est relativement élevée. Une usure exagérée de nos routes d'une largeur de 3 m en résulte de chaque côté de l'axe en vue du fait que le véhicule à moteur à charge n'ayant presque pas la possibilité de croiser.

Les pierres d'empierrement se ramassent à la longue, sous l'effet d'une surcharge momentanée du camion sous la bande de roulement, au milieu et des deux côtés du chemin modifiant son profil normal qui étant la cause d'une accumulation des eaux de surface en cas de précipitations. Cette eau pluviale, au lieu de s'écouler transversalement, est canalisée dans les deux cuvettes longitudinales formées dans le profil, augmente sa puissance d'érosion au prorata de la pente de la chaussée.

C'est après une période de pluies prolongées et aussi pendant celles du dégel que ces chemins à hérisson, détrempés jusqu'au sous-sol et plus, ne sont plus carrossables au risque de provoquer des enfoncements sous le passage des charges roulantes et répétées du véhicule transporteur qui exerce une pression unitaire trop élevée. Ce sont précisément les vides, les interstices de l'empierrement avec son gravier perméable dont la qualité et la quantité insuffisantes en matériau fin approprié, qui laissent percoler les précipitations. Par conséquent, ces routes forestières ne peuvent être employées qu'avec des restrictions, c'est dire que leur utilisation dépendra manifestement des intempéries. La défense de ne pas les fréquenter en ces moments-là dans le but de les ménager ne diminue en rien leur soi-disant défectuosité. Le défoncement complet des pierres d'empierrement sous la surface de roulement doit être considéré comme une rupture de liaison avec le restant du hérisson et pourrait être de moindre importance sur des fondations pierreuses, plus conséquente alors sur un terrain dépourvu de pierres, comme dans les terres brunes profondes et dans l'argile. Dans ces sols, des remontées de marne sont à craindre lors de grandes précipitations, pouvant rendre ces voies de dévestiture quasi impraticables jusqu'à leur assèchement normal. Aussi, leurs frais de restauration résultant de cet état de choses sont en général assez grands.

Les chemins à hérisson sont à peu près inconnus aux Etats-Unis, car les ingénieurs routiers ne veulent pas de chaussées dans lesquelles puissent exister des vides et aussi parce que la pose d'un empierrement à la main serait trop onéreux.

En France, l'empierrement fut remplacé dans les sous-sols mauvais à très mauvais (très argileux) par des couches épaisses compactées de gravier, en particulier sur des routes à trafic lourd et rapide. Les expériences faites avec cette méthode se sont relevées comme bonnes et concluantes, et si ces routes étaient encore stabilisées avec des produits hydrocarbonés les rendant imperméables, elles acquerraient alors une force portante extraordinaire. Le gravier comprimé, vu sa supériorité technique et économique, peut très avantageusement remplacer le hérisson. Les ingénieurs français (8) estiment qu'en terrain argileux l'exécution d'un empierrement n'eût pas fait ses preuves parce qu'il donna suffisamment de mécomptes et exigeant la plupart du temps sa démolition. L'on était alors tenu de placer au-dessous une couche de gravier dite «assainissement» et de remplacer le hérisson au-dessus, ce qui entraîna un prix de revient de la chaussée très élevé. Par contre, l'emploi de couches de gravier compactées et suffisamment résistantes présente une solution plus rationnelle et économique dans un mauvais sol que les pierres dressées.

Aussi en Suisse, sur les routes cantonales, dans la plupart des cas, le hérisson est remplacé par une ou plusieurs couches de chaille, procédé ayant fait ses preuves et étant le plus économique. Depuis quelques années

déjà, de nombreux chemins forestiers carrossables, munis de chaille compactée à la place de l'empierrement, furent construits chez nous. Ce système économique est caractérisé par une plus grande résistance à l'usure et à la désagrégation.

Un autre processus, employé depuis un certain temps dans le canton d'Argovie, consiste à compacter des graviers siliceux d'une épaisseur de 0,35 m (0,50 m avant cylindrage) en remplaçant le hérisson. Le compactage se fait avec un rouleau vibrateur. Il s'agit ici d'utiliser en quelque sorte du gravier tel quel, départ paroi d'une gravière et mis en place dans le caisson d'un chemin forestier pour être comprimé. Cette couche de gravier vibrée remplace très avantageusement le hérisson avec son gravier parce que la proportion de vides et la teneur en eau est telle que la densité sèche du sol soit maximum.

Ces deux modes de faire — quoique étant supérieurs au système classique — possèdent cependant un désavantage incontestable, c'est d'être recouvert d'une couche de gravier plus ou moins fin en mélange avec une portion variable de particules d'argile devant servir comme soi-disant liant. Le gravelage de toutes ces routes forestières étant perméable, ne résistant pas à l'érosion, se désagrège assez vite aux mouvements d'arrachement des pneumatiques des voitures motorisées à cause du manque de cohésion.

Le gravier plus ou moins gras ne joue le rôle de liant que lorsqu'il est humide (ni trop sec, ni détrempé). Sa fonction de liant devient alors très problématique.

Après la première guerre mondiale, le trafic automobile se développa très rapidement, des camions de provenance américaine circulèrent dans les forêts publiques, transportèrent d'abord du bois de feu et papier, complétés par des remorques, ils essayèrent de véhiculer des grumes. Leurs bandages pleins étaient en ce moment encore modernes. Les camions furent à la suite transformés, modernisés, les bandages pleins firent place aux pneumatiques, les attelages de vaches, bœufs et de chevaux avec leurs voitures à bandage métallique furent vigoureusement concurrencés.

Les organes de surveillance réagirent à l'usure exceptionnelle de nos routes cantonales et intercommunales due au poids et à la vitesse de ces véhicules à moteur par un compactage de couches de pierres liées à l'eau, dit «Macadam-Mortier». L'on se rendit cependant bientôt compte que cette technique, malgré la limitation de la charge, était loin de donner satisfaction et l'on poursuivit la lutte contre la désagrégation et la poussière des routes soumises à des efforts mécaniques considérables par l'emploi de bandages pneumatiques des automobiles.

Le développement de la circulation routière, l'industrialisation croissante du pays, l'extension rapide des villes, la densité accrue du trafic routier, la vitesse des véhicules, toujours plus grande, posèrent de nou-

veaux problèmes dans la construction des routes. Cette évolution exige une adaptation de la route aux conditions routières au point de vue du profil en long, profil en travers, de la largeur de la chaussée et des virages.

Nous devons constater par la suite que le trafic forestier s'était profondément modifié depuis 1919 grâce au développement rapide des moyens de transport par traction automobile.

Aujourd'hui, il est rare de constater que les produits forestiers soient chargés sur wagon, à l'exception peut-être du bois de papier, aussi partiellement du bois de feu, tandis que les bois d'œuvre sont transportés par camion aux centres de consommation jusqu'à des centaines de kilomètres. De cette façon, on évite des frais de manutention résultant du déchargement et rechargement du bois, etc., travaux supplémentaires qui renchérissent le prix de revient du bois.

Finalement, l'on est arrivé au système de compactage stabilisé par des liants hydrocarbonés de nos chaussées intercommunales. L'on avait compris qu'il fallait protéger le sol contre les infiltrations des précipitations et contre la remontée de l'eau par capillarité, pour en obtenir une résistance accrue et une force portante maximum de la chaussée. Ce but ne peut être atteint que par une imperméabilité de la chaussée et du sous-sol. Ce sont les procédés de stabilisation bitumineux qui nous ont permis de réaliser ces propriétés de la chaussée moderne.

Les techniques de construction de routes ont rapidement évolué, tandis qu'en forêt, jusqu'en 1951, aucun progrès notable ne fut réalisé. Dans les milieux forestiers, on assista à la modernisation des routes publiques sans réaction d'abord et sans se soucier, si la construction de nos chemins forestiers ne devait pas être également modernisée et adaptée aux nouveaux efforts mécaniques néfastes exercés sur la bande de roulement par des véhicules à moteur. Nos lecteurs ne devraient pas oublier que nos routes forestières ne jouissent en général pas des mêmes conditions que les routes intercommunales, parce que la présence de la forêt conditionne une aération mauvaise, un ombrage important et, en hiver, un enneigement pouvant durer des semaines. On peut cependant améliorer quelque peu cet état de choses par un dégagement large de nos artères forestières.

L'emploi de liants bitumineux se pratiqua d'abord dans les villes, pour améliorer l'écoulement de l'eau de surface, pour combattre la poussière et peut-être aussi dans une certaine mesure pour diminuer le bruit des bandages métalliques des voitures hippomobiles.

Pour tenir compte de tous ces facteurs nouveaux lors de la conception de voies de communication modernes et ensuite de leur réalisation, les ingénieurs routiers se virent imposé l'étude des propriétés mécaniques des sous-sols, support de la chaussée, pour connaître sa force portante.

Rappelons qu'un sol (6) contient, en proportions variables, *trois éléments:*

1. des matières solides,
2. de l'eau,
3. de l'air.

Il va de soi que l'eau et l'air remplissent les interstices entre les matières solides et dont les proportions des éléments peuvent être mesurées au laboratoire et même plus ou moins facilement sur le terrain.

Les ingénieurs déterminent la teneur en eau, la porosité, l'indice des vides, les densités absolues et apparentes et la granulométrie des sols. Cette dernière est fixée par les dimensions des matières solides, car les proportions des grains de chaque dimension déterminent cette granulométrie (6).

L'analyse granulométrique se fait par tamisage du sol desséché pour les éléments de grosseur supérieure à 0,5 mm, et par décantation ou encore par d'autres méthodes, pour les éléments plus fins.

Les résultats de l'analyse du sol étudié se traduisent par une courbe granulométrique, qui pourtant ne suffit pas à déterminer les propriétés mécaniques d'un sol brut, qui peuvent être modifiées selon les variations de la teneuer en eau. Cette eau joue un rôle de premier plan dans la cohésion des éléments solides fins. Les techniciens routiers, dans le but de la classification des sols en bon sol, sol passable, mauvais sol et très mauvais sol, doivent étudier en plus les «indices de groupe» des prélèvements du sous-sol (système américain), etc.

Ces brèves indications doivent vous donner un tout petit aperçu sur cette méthode permettant de déterminer la portance des sous-sols.

En général, cette étude des sols paraît être moins importante chez nous, en forêt, parce que les sous-sols sont, dans la plupart des cas, bons à passables, sauf l'argile compacte, les marécages et les endroits où nous devons constater l'absence totale de matériaux pierreux.

Dans le rocher, la construction de routes ne pose pas de problème.

L'étude des terrains de fondation poursuit le but de fixer leur aptitude à supporter les charges de la circulation transmises par l'intermédiaire de la chaussée, en tenant compte de la circulation (charge maximum et intensité) les conditions locales, comme climat, drainage, etc.

A l'exception de la Pennsylvanie (USA) (2) où aucune étude de sols n'est faite, ceci en vue de l'abondance de matériaux de bonne qualité, dans les autres Etats de l'Amérique du Nord, au contraire, où les techniques de chaussées en sol sont largement développées à cause du manque de matériaux de bonne qualité dans de vastes zones, l'étude du terrain de fondation est opérée systématiquement pour chaque chantier.

La portance, c'est-à-dire les épaisseurs de chaussées, déterminées par l'une ou l'autre méthode en vigueur, s'entendent toujours sur une fonda-

tion parfaitement compactée. Il ne faut pas oublier que la portance d'un sol (6) est fonction de son angle de frottement interne dû à la présence de gros matériaux qu'il possède et que l'on appelle «agrégat ou squelette» et de sa cohésion due à l'existence de matériaux fins appelés «mortier». Selon la teneur en eau, la cohésion est variable, tandis que l'angle de frottement reste presque constant. C'est le motif pour lequel des couches de pierres compactées étant à l'abri de l'infiltration des eaux pluviales et dont leur assise reste à l'état sec, auront toujours approximativement la même force portante surtout si nous allons les doter encore d'un revêtement imperméable. L'ingénieur expérimenté sait que depuis fort longtemps le sol acquiert le maximum de résistance mécanique par les techniques de stabilisation physiques et chimiques qui consistent à diminuer dans le sol la proportion des vides et la teneur en eau. Ce degré doit être tel que la densité sèche du sol soit maximum.

Exécution du caisson et chaussée

Les terrassements doivent se faire selon les règles de l'art indépendamment du choix du type de construction. Il faudra veiller surtout à l'extraction de toutes les souches afin d'éviter les mouvements de la chaussée au moment de la transformation chimique de ces débris végétaux. Les entonnoirs provenant de l'extraction de troncs de souche sont à combler tout de suite avec du gravier et non pas avec de la terre, en particulier lorsqu'il s'agit des sols contenant une certaine proportion d'argile, car l'eau de pluie s'y rassemble, pénètre dans l'argile sous la compression des véhicules et donne une zone ramollie qui persiste longtemps, enlève à l'argile toute portance et empêche le compactage des pierres.

En ce qui concerne les terrassements dans le caisson, l'on peut dire que les déblais seront, vis-à-vis du profil classique, abaissés (35 à 16 cm) de 19 cm, se traduisant par m^1 à une économie de $1 \times 0{,}19 \times 3 = 0{,}57\ m^3$ de déblais pour une largeur de 3 m. Une économie du même ordre est réalisée avec les pierres à cylindrer.

Bombement du profil normal

Au cas où le sous-sol contiendrait très peu de pierres et beaucoup de terre marneuse, il est recommandé de cylindrer légèrement l'encaissement afin de rendre lisse la surface empêchant ainsi la pénétration de l'eau. Etant donné que le rouleau possède une largeur supérieure à 1,50 m, le milieu du chemin viendra roulé deux fois pendant que les bords le seraient une fois. Par conséquent, le bombement donné à l'encaissement s'écrase et disparaîtra à la suite presque complètement. Il est alors indiqué de donner au coffre une seule pente transversale de la banquette à la pierre de bordure de l'ordre de 3 à 4 %, ce qui est plus que suffisant, vu que la pluie s'écoulera très rapidement sur le tapis imperméable. Une banquette surélevée, comme protection contre un dérapage éventuel des

véhicules en hiver, aura toute son utilité et fortifiera en même temps talus et chaussée.

L'amélioration des propriétés physiques du sol se fait par les techniques de la stabilisation mécanique. La principale opération de ce traitement est le compactage, qui n'est possible que si le sol répond à certaines conditions.

Les conditions granulométriques s'expliquent par la nécessité d'obtenir un minimum de vides dans le sol. Pour remplir les vides, il faut une certaine proportion d'éléments de toutes dimensions, et pour donner au sol une portance suffisante, il y aura lieu de le compacter. Ce cylindrage peut se faire ou bien avec un rouleau assez lourd selon la nature et les conditions physiques du sol au moment du compactage (5 à 12 t), ou bien avec un rouleau vibrateur. Ce travail de compression est calculé par m^2. En cylindrant des couches de pierres d'environ 25 cm d'épaisseur en deux fois (avant compactage), il faudrait compter pour une journée de dix heures environ 150 à 200 m^2. La location heure d'un cylindre vibrateur se monte à environ 12 fr. et celle d'un rouleau de 7 à 12 t de 12 fr. à 14 fr. 50. La surface cylindrée par jour est à peu près semblable pour les deux genres de rouleau. Le temps aller et retour enregistré pour se rendre au chantier est compris dans la location.

Le compactage ne stabilise qu'une couche de pierres plus ou moins épaisse selon le poids de l'engin utilisé. La stabilisation du sol sur une grande profondeur exige le cylindrage par couches successives (ne pas dépasser 12 cm de profondeur par couche), ceci pour éviter que le matériau soit poussé en ondulations et que le compactage soit insuffisant.

Le cylindre a la faculté de mettre les pierres de fondation en place. Il n'est pas nécessaire que les pierres soient écrasées ou trop serrées, la compression des pierres coince les unes contre les autres et la résistance est obtenue par le coincement des éléments, et ce sont les produits bitumineux qui les maintiennent ensemble et en place. La compacticité de l'ensemble remplace la résistance individuelle des éléments.

Suivant la nature et la qualité du sous-sol, l'on peut varier la composition et l'épaisseur des couches de fondation pour l'obtention d'une force portante suffisante. Sur du rocher, par exemple, la couche de gravier calibré peut être réduite au total à 6—10 cm.

La surveillance des travaux doit avoir un œil vigilant sur les grandes pierres dans la couche de pierres tout-venant à compacter qui, une fois en place, doivent être concassées pour empêcher de basculer plus tard sous la charge des véhicules. Nous devons vous faire observer que les matériaux de rivière trop ronds et employés dans l'agrégat doivent être cassés avant de les répandre sur l'encaissement, car ils peuvent provoquer des déformations, se décompacter, et aussi l'enrobage en goudron se fait moins bien. S'il s'agit de gravillons de rivière, au moins le 50 % en poids devra avoir une surface anguleuse.

L'épandage à coups de pelle du matériau pierreux tout-venant dans le coffre provenant des déblais et des carrières doit se faire en deux couches successivement compactées de 2 × 9 cm = 18 cm avant compactage pour arriver à une épaisseur de 12 cm comprimée.

Si le coffre est dépourvu de pierres et se compose de l'argile, il peut se présenter certaines difficultés attribuées au fait que l'eau de pluie chemine longitudinalement dans les ornières creusées dans la marne par les camions transporteurs de pierres, ne s'écoule pas latéralement, détrempe l'argile et entraîne des remontées de marne. Il faut alors arrêter les transports, attendre le beau temps et laisser sécher l'argile.

Pour assurer l'évacuation des eaux de surface, il y aurait lieu de créer en mauvais sol, de temps en temps, des drains en pierres sèches traversant coffre et banquettes.

Sur ces deux couches de pierres comprimées de 12 cm on répandra une nouvelle couche de pierres très dures et propres concassées, de 4 cm d'épaisseur, de l'ordre de grandeur de 30 à 60 mm. Ces pierres cassées, avec des surfaces anguleuses, ne doivent pas se mâcher sous le poids du cylindre. Si tel devait être le cas, l'enrobage des pierres pourrait être compromis, car ce serait cette poussière qui absorberait les émulsions destinées à enrober ces éléments individuels compactés et les maintenir en place.

Une fois le compactage terminé et contrôlé, avant de passer à la phase suivante, un travail de surfaçage doit être effectué pour obtenir de bons profils en long et en travers (tolérance en profils en travers = 1 cm sur une règle de 3 m). Il est inévitable qu'entre le moment de fin de compactage et le moment d'application des couches d'imprégnation qu'il y ait quelques désagrégations à réparer en raclant les parties ayant du gravier roulant de l'ordre de 2 à 4 cm de profondeur et en rapportant du gravier dans les flaches. Le tout cylindré pour incorporer ce gravier d'apport au restant de la masse.

Les techniques modernes de construction de chaussées en sol stabilisé au bitume sont très nombreuses et leur choix dans chaque cas pose un problème. Parmi la gamme des systèmes, nos efforts se sont concentrés à l'étude d'un type expérimenté sous le ciel suisse appelé compactage aux Composols.

Les trois couches de pierres compactées représentent une épaisseur totale de 16 cm. La stabilisation chimique s'exécute comme suit:

a) Traitement de base

Une émulsion spéciale de goudron appelée Composol A, chauffée préalablement à 60—65° C, sera épandue sur ces pierres compactées à raison de 1,2 kg/m² en deux passes, suivie d'un épandage d'un gravillon calcaire de 15/25 mm, chaque fois 5 litres/m², et léger cylindrage.

Après chaque passe, il faut laisser enrober les pierres avant de continuer avec la prochaine couche. Ce procédé d'enrobage peut durer une à deux heures. Les éléments de pierres doivent être complètement noircis avant de suivre le processus.

b) Traitement supérieur

On épandra maintenant une émulsion spéciale de bitume à froid appelée Composol B et appliquée en trois couches successives d'une quantité de 2,4 kg/m² au total. Après chaque couche de bitume de 800 g/m², épandre du gravier siliceux, d'abord du 10/15 mm, ensuite du 5/8 mm, et pour la dernière couche de fermeture du 3/5 mm. Après chaque gravillonnage à raison de 5 litres/m², léger cylindrage.

Pour le traitement supérieur, l'emploi du gravillon calcaire est prohibé parce qu'il a tendance à augmenter la glissade de la surface de roulement. Le grain calcaire à ces dimensions s'écrase sous le poids des véhicules et donne une espèce de farine se mélangeant au bitume et diminue à la suite la rugosité de la chaussée.

Pour une meilleure compréhension de l'application des liants hydrocarbonés formant la base chimique de stabilisation de nos routes et par conséquent jouant une importance capitale dans la construction moderne, il nous paraît opportun et indiqué de parler à nos lecteurs brièvement de leur nature et comportement.

L'expression liant signifie une action destinée à lier les éléments de pierres entre eux. Comme nous avons pu le voir plus haut, ces liants doivent maintenir les couches de pierres dans leur état de compactage. L'application de ces liants, qui sont en principe le goudron et le bitume, se fait à chaud ou à froid, sous forme d'émulsions spéciales.

En technique routière, le goudron est tiré de la distillation de la houille et utilisé après un traitement complémentaire approprié (5). Le bitume, par contre, appelé aussi asphalte, est un des nombreux produits obtenus par la distillation du pétrole brut. Il existe aussi des asphaltes naturels (imprégnation naturelle des rochers par des matières asphaltiques, comme au Val-de-Travers, etc.). Le degré de dureté de ces liants peut être modifié d'une manière passagère ou durable par l'adjonction ultérieure d'un solvant chimique apparenté selon l'utilisation présumée. Une autre propriété consiste à mélanger les liants bitumineux (goudron et bitume) avec de l'eau par l'addition d'un émulsif pour en fabriquer des émulsions fluides.

Une émulsion de goudron est une émulsion inversée dont un globule de goudron possède dans son intérieur une gouttelette d'eau de savon.

Une émulsion de bitume est une émulsion ordinaire ou intérieure, dont une gouttelette de bitume est suspendue dans une gouttelette d'eau de savon. Avec d'autres mots, les émulsions sont des systèmes de dispersion de deux liquides non solubles l'un dans l'autre, dont l'un est dispersé

dans l'autre sous forme de globules à l'état d'extrême division. Les émulsions de bitume utilisées pour routes contiennent 51 à 60 % de bitume en poids.

Les émulsions bitumineuses permettent à la technique, grâce à leur fluidité, de répandre le bitume et le goudron qu'elles contiennent en couches très minces, assurant ainsi une pénétration et répartition homogènes, produits disposant en même temps d'un grand pouvoir collant, d'enrobage (mouillage) et d'adhésivité.

Au contact du gravier concassé, la rupture de l'émulsion en deux phases, huileuse et acqueuse, s'effectue. Il se forme sur la pierre un film de liant dont les propriétés sont celles du bitume ou du goudron utilisé, tandis que l'eau s'écoule ou s'évapore. Ce processus se nomme «rupture de l'émulsion».

L'épandage du liant est toujours à faire en deux ou plusieurs passes, afin de réaliser une répartition aussi régulière que possible dans le squelette. Le traitement supérieur doit toujours être exécuté sur le traitement de base afin d'empêcher l'infiltration de l'eau. Le liant est ainsi concentré à la partie supérieure pour donner cohésion et imperméabilité à la couche d'usure.

Les expériences ont prouvé que la qualité des matériaux, mais aussi la précision avec laquelle on exécute un revêtement relativement faible, jouent un grand rôle. Plus un tapis est mince (dans notre cas environ 20 mm), plus son exécution demande une préparation exacte. Une erreur de dosage en liant de la bande de roulement peut avoir éventuellement des conséquences fâcheuses pour son comportement. Un manque de bitume rendra le revêtement poreux et fragile, un excédent lui fera perdre sa stabilité et l'on obtiendra des vagues et une chaussée glissante sous la compression des véhicules parce que le surplus du liant remonte en surface (5). Le proverbe «trop et trop peu gâte tous les jeux» conserve aussi ici toute sa valeur.

Les températures de préparation sont à observer pour ne pas influencer la viscosité du liant au-delà des limites admissibles. Il est compréhensible qu'un liant trop fluidifié ne permet plus d'obtenir une pellicule d'épaisseur suffisante sur les pierres, puisqu'il a tendance à s'écouler vers la profondeur de l'agrégat. Aussi pourrait-il en résulter un changement de propriétés chimiques et physiques.

La durabilité et le degré de rugosité du tapis à confectionner sont conditionnés par la composition de l'agrégat utilisé et du comportement du liant bitumineux.

Le comportement du liant joue un rôle considérable. Il doit être de nature à ne pas devenir cassant pendant les basses températures, afin que le revêtement ne se désagrège pas et conserve tout de même encore une certaine plasticité. L'addition de matériaux fins contribue aussi à abais-

ser fortement le degré de sensibilité aux variations de température de la bande de roulement.

Le surveillant des travaux doit vouer une grande attention à la qualité et à la nature de la pierre au calibre maximum de gravier concassé et à la granulométrie, parce que ce n'est pas seulement l'insensibilité du tapis vis-à-vis des températures qui importe quant à la rugosité et à la durabilité, mais aussi sa composition granulométrique et sa structure de la surface.

La structure superficielle prévue pour nos routes forestières correctement exécutées peut être taxée comme un revêtement à texture fine et fermée du type de papier de verre présentant une mosaïque dite antidérapante. Cette structure de la surface d'usure contribue pour une bonne part à la sécurité du trafic. D'autre part, le bitume ne doit pas se liquéfier sous l'influence des températures élevées auxquelles le revêtement de la chaussée est susceptible d'être soumis (5).

Des essais entrepris ont démontré qu'il se développe entre les pneus et la bande d'usure, lors du freinage brusque, les roues bloquées glissant sur la chaussée jusqu'à ce que la force vive soit anéantie, des températures allant jusqu'à 200° C. Ces hautes températures n'interviennent naturellement qu'un instant, mais il est alors important que le bitume ne se transforme pas en couche visqueuse et glissante entre pneu et chaussée. C'est la raison pour laquelle le tapis doit être insensible aux températures de —30° à +200° C.

Pour atteindre ce but, les conditions de dosage en liant, en gravier, ainsi que sa granulométrie, doivent être soigneusement respectées.

Pourquoi les anciens revêtements étaient-ils glissants?

Parce qu'il y avait excédent en liant et l'on y mélangea du gravier calcaire qui, sous la charge des véhicules, s'écrasa, formant une espèce de farine rendant la chaussée visqueuse, ceci en une période où l'on ne discutait pas encore de la rugosité du tapis, mais plutôt de la lutte contre la poussière.

Le revêtement bitumineux, grâce à sa faculté d'absorber la chaleur du soleil, mais aussi celle exercée par le pneu, est moins sujet à la formation du verglas que les autres revêtements. En raison de leurs propriétés physiques, le comportement des liants bitumineux est élastique et plastique, sa souplesse assure au tapis un bon contact avec la forme de la chaussée.

D'une façon générale, la stabilisation d'un sol par un liant bitumineux est le nom donné aux méthodes de construction dans lesquelles le liant est incorporé au sol lui-même ou à des agrégats étrangers pour constituer une couche de structure supérieure. La cohésion et l'adhésivité du sol sont augmentées en y ajoutant un liant hydrocarboné qui enrobe l'agrégat de surface. Le matériau à traiter doit être exempt de matières organiques. La présence de graviers concassés en quantité réduit le pour-

cent de liant en augmentant la stabilité mécanique de l'ensemble. Il se peut que les matériaux locaux appliqués dans le squelette soient souvent de structure tendre, inconvénient que neutralise leur compacité relative.

Les chaussées construites en matériaux enrobés sur place par nos Composols A et B présentent un uni remarquable, réduisant la consommation et l'usure des véhicules et accroissant le confort tout en restant antidérapantes à condition que l'application de ce procédé de construction se fasse exactement selon nos directives.

A part l'avantage du liant bitumineux d'empêcher les herbes d'envahir la chaussée (herbicide), mentionnons encore qu'en raison de l'élasticité des pneumatiques et de la plasticité du bitume, l'on prétend que la charge se répartit sur une plus grande surface de roulement, d'où pression réduite. La pression du pneumatique exercée sur la route correspond à son gonflage, étant donné que la surface de contact du pneu avec la roue augmente avec la charge supportée.

Nous pouvons affirmer que le bout d'essai, qui aura quatre ans d'existence cet automne, s'est merveilleusement comporté, nous permettant, grâce aux expériences acquises, de propager ce système sans restrictions.

A la fin de cet été nous disposerons d'un réseau de 7,5 km construits selon ce processus «Compactage aux Composols» (nouvelles constructions et modernisation de chemins existants). Pour maintenir ces routes en bon état, il leur faut du soleil et de la circulation, car le tout forme une masse plastique se stabilisant à chaque moment par compression des véhicules.

C. La modernisation des routes forestières existantes

La traction automobile chargée de transporter les produits ligneux de nos forêts a modifié d'une façon décisive le trafic forestier depuis une trentaine d'années grâce à l'essor inattendu de cette industrie.

Il est connu, et chaque forestier a pu faire ses propres expériences, que l'entretien de nos chemins forestiers construits selon le système classique est coûteux dans les premières années qui suivent leur construction. Le cylindrage de la bande de roulement de la chaussée améliore certainement son état, cependant cette amélioration ne peut pas la rendre imperméable, résistante à l'érosion et à l'action néfaste d'arrachement des pneumatiques modernes et encore moins supprimer les vides existant dans son empierrement.

L'entretien est onéreux:

1° pour les chemins accusant de fortes déclivités et
2° pour les chemins à plat à très faible pente.

Sur les chemins fortement en pente ayant été rechargés de gravier sans compactage, il suffit souvent d'une trombe d'eau pour que le gravier soit enlevé partiellement ou totalement et amené dans le bas, la surface

superficielle est alors creusée et minée. Les frais de restauration d'une pareille chaussée se chiffrent alors selon les circonstances à des centaines de francs.

Quant aux artères construites aux endroits plats, même avec fossés longitudinaux, l'on doit souvent faire la constatation que, par négligence, des saignées de banquette se trouvent bouchées, les fossés mal curés et la chaussée mal entretenue. Les précipitations s'écoulant mal sur de pareils chemins, elles stationnent dans les petites cuvettes et les détrempent. Lorsque le transport du bois s'effectue sur ces artères après de fortes pluies, les endroits détrempés et ramollis cèdent sous la charge des véhicules et forment à la suite des trous, isolés d'abord, puis en chapelets nommés «nids de poule», dans lesquels l'eau de pluie s'accumule et stationne à nouveau, et le même processus se répétera x fois.

La chaussée à hérisson cylindrée résiste mal aux efforts de cisaillement et d'écrasement des véhicules hippomobiles à bandages métalliques. Ces chars, avec une charge de 6 t au plus, exercent une pression unitaire très élevée et produisent sous l'effet de cisaillement des ornières, sources d'accumulation d'eau de surface. Par contre, elle ne résiste pas à l'action d'arrachement des pneumatiques, surtout à profil ventouse, des voitures motorisées à cause du manque de cohésion de la surface superficielle. En effet, les pierres ne sont liées entre elles que par du gravier plus ou moins gras et qui ne joue le rôle de liant que lorsqu'il est humide. Pour éviter cet inconvénient, des essais ont été faits au liant hydraulique, avec lequel l'on obtient un macadam-mortier. Cependant, cette méthode de construction fut abandonnée à son tour parce qu'elle ne résista pas non plus à la circulation de la traction automobile.

Si vous examinez bien ces lieux, vous constaterez que l'empierrement s'est enfoncé. Sous l'influence du trafic automobile, la route subit des efforts nouveaux dus aux démarrages, accélérations, freinages, dérapages, patinages, aux efforts tangentiels axiaux, à l'effort vertical proportionné au poids et charge, à l'effort dû à la force centrifuge et perpendiculaire à l'axe du mouvement du véhicule et à la succion. Les éléments fins, lieurs, sont aspirés et dispersés en poussière et le matériau moyen et gros est, à la suite, déchaussé, formant bientôt un amas de pierres roulantes. Ces nids de poule se développent rapidement, pouvant mettre en péril l'existence de la route.

Les parties de chemins fraîchement réparées sont perméables et se détériorent à nouveau vite.

Pour parer à ces désavantages graves et pour rendre nos chemins forestiers existants imperméables et résistant aux véhicules automobiles. il faudrait prévoir l'application des nouvelles techniques dites «Compactage aux Composols» modifiées.

Ont été aménagés dans la forêt domaniale «Le Fahy» depuis deux ans, à titre d'essai: 350 m^1 de routes existantes, dont l'une ayant une dé-

clivité de 14 à 16 % et l'autre de 4 à 5 % environ. Ces deux aménagements modernes se sont fort bien comportés et ont donné pleine satisfaction.

Le procédé employé consiste à défoncer et à reprofiler le chemin disposant encore suffisamment de gravier dur, de l'imprégner et de le munir d'un revêtement étanche, le rendant ainsi carrossable pendant toute l'année sans restriction aucune. Aux endroits où le gravier fait défaut, on fera abstraction de défoncement, et le propriétaire de forêt mettra à la disposition de l'entreprise chargée de la modernisation du chemin existant du gravier dur et propre d'un calibre de 10 à 40 mm pour permettre son reprofilage.

Quant à l'emploi de cette technique, elle consiste dans les opérations de stabilisation suivantes:

1. Défoncer le chemin à moderniser pour que le gravier soit monté, le matériel fin reste alors au fond.
2. Répartition éventuelle du gravier dur apporté de l'ordre de 10 à 40 mm là où celui-ci fait défaut, afin d'arriver à une planie uniforme (reprofilage) ensuite compactage. Aucun défoncement n'est prévu aux endroits où le gravier manque et où sa qualité est considérée comme mauvaise. Dans ce cas, il faudrait recouvrir le chemin d'une couche de gravier dur d'une épaisseur de 4 cm d'un calibre de 10 à 40 mm. Ensuite compactage du gravier défoncé et du gravier apporté.
3. Couler une couche d'émulsion spéciale de goudron à chaud (60 à 65° C) = Composol A à raison de 900 g/m², gravillonnage avec siliceux du 5/8 mm — 10 litres/m² et léger cylindrage.
4. Couler une couche d'émulsion spéciale de bitume à froid (Composol B, soit 900 g/m², gravillonnage siliceux du 3/5 mm — 10 litres/m² et léger cylindrage.
5. Couler une couche d'émulsion spéciale de bitume à froid = Composol B, soit 900 g/m², gravillonnage siliceux du 3/5 mm — 10 litres/m² et léger cylindrage.

Le gravier nécessaire pour reprofiler le chemin n'est pas compris dans le prix des cinq opérations qui coûtent par m² 3 fr. 50 avec défoncement ou 3 fr. 10 sans défoncement.

Quelques tuyaux pratiques à l'intention des organes de surveillance:

1. Compactage des couches de pierres jusqu'à une profondeur de 12 cm avant cylindrage (pas plus). Le rouleau pousse les pierres. Résultat: ondulations de la chaussée, compactage insuffisant.
2. Examen du profil en long et à travers immédiatement avant l'applications des Composols pour s'assurer d'un uni sans vagues.
3. Vérification de l'arrivée des fûts (quantité) de Composols au prorata des m² de chemin à traiter.
4. Vérification des fûts non utilisés après l'achèvement du travail.

5. Une fois le traitement de base au Composol A à chaud et cylindrage après chaque passe terminés, laisser enrober pendant un certain temps (une à deux heures). Les pierres doivent être noires. Essayer avec le pouce de frotter les pierres enrobées. Si le goudron s'enlève — eh bien! le pouvoir collant n'est pas encore assez efficace. Attendre avant de commencer le traitement supérieur.
6. Les Composols A et B doivent toujours être appliqués dans la proportion $^1/_3$: $^2/_3$ pour garantir le succès.

Analyse des prix: pour chemins forestiers — Base: 600 m² par jour

1. Livraison de Composols:
   émulsion de bitume 100 kg fr. 31.50 chantier
2. Epandage . . . . . 100 kg fr. 8.—
3. Livraison de gravier calcaire 15/25, rayon de transport 10 km, moyenne fr. 13.80 à fr. 17.—/m³
4. Livraison de gravier calcaire 30/60 mm, cylindrage, chantier 10 km environ, fr. 17.— à fr. 19.— à fr. 21.—/m³
5. Livraison de gravier siliceux: 10/15 mm épandu fr. 26.—/m³
   5/8 mm épandu fr. 29.55/m³
   3/5 mm épandu fr. 32.50/m³
6. Mise en place (coups de pelle) chaille ou gravier tout-venant, y compris cylindrage, le m³ fr. 9.10
7. Cylindrage: rouleau 9 à 12 t, 10 heures à fr. 13.50/heure
8. Cylindrage: par m² (24 cm avant cylindrage) fr. —.40 à fr. —.60/m²
9. Epandage de pierres: entre fr. 3.75 et fr. 4.20 le m³
10. Cylindrage léger/m²: fr. —.05 à fr. —.08/m²
11. Gravillonnage: 15/25 mm, calcaires 10/15, 5/8, 3/5, fr. —.20 les 5 litres
12. Epandage de Composols A + B 400 g . . . . . fr. —.16
    800 g . . . . . fr. —.32
13. Risques et bénéfices, frais généraux, etc. $16^1/_2$ à 18 %
14. Icha (impôts) 2,2 %
15. Nettoyage du chantier m² fr. —.05
16. *a)* pour livraison, transport des pierres compactage aux Composols (3,6 kg/m²) selon la distance de transport fr. 8.60 à fr. 9.60 par m² pour une couche totale de 16 à 18 cm;
    b) pour une couche totale de 24 cm fr. 10.20/m²
17. Pierres de bordure en dalles bétonnées, armées de quatre fers, 350 kg C. P./m³, 40×8 cm, avec emboîtement (Nut und Feder), fourniture chantier fr. 4.90 à fr. 5.60/m, déchargement à la charge de l'entrepreneur du chemin. Pose fr. 2.50 par m, fouilles comprises.
18. Aqueducs: tuyau 30 cm ∅, fourniture, transport, pose avec fouilles, fr. 11.— à fr. 18.— le m; tuyaux en coude avec chapeau: fournitures, transport, pose avec fouille, fr. —.60 l'ensemble.
19. Défonçage, hersage et mise en place du matériel d'apport fr. 1.—/m².

Littératures consultées

1. La route à travers les âges, par A. Peter.
2. Diverses revues générales des routes et des aérodromes, Paris, 1951, 1952, 1953.
3. Un revêtement économique ultra-moderne sur les routes d'Afrique, par A.-J. Bougon, ing.

4. La route à revêtement bitumineux par le groupement pour l'emploi des liants bitumineux dans la construction de routes, 1955.
5. Construction des routes vue par la science et l'industrie, par G. Wuhrmann. «Revue forestière française.»
6. Evolution des techniques de construction des routes, par Jean Boutin.
7. Réalisation d'une route en sol stabilisé; route forestière de la Table, par G. Roger.
8. Construction de routes neuves en gravier compacté, par F. Ramel, ing.

Zusammenfassung

Betrachtungen über die technische Entwicklung des Waldstraßenbaus

Steinbettstraßen und Makadam-Mörtel-Straßen weisen den großen Nachteil auf, daß sie bei anhaltendem Regen aufgeweicht und dadurch beim Befahren mit großen Lasten stark abgenutzt und beschädigt werden. Man ist deshalb in Städten und Dörfern sowie auf Hauptverkehrsstraßen schon längst zu einem andern Typ übergegangen: Ein Schotterbelag wird mechanisch komprimiert (Walze) und mittels kohlenwasserstoffhaltigen Bindemitteln (Teerderivaten) stabilisiert. Vorteile dieser neuen Methode sind: Es ist kein Steinbett notwendig, das Eindringen von Wasser in den Straßenkörper und die Staubentwicklung sind verhindert. Dieses System gelangt seit einiger Zeit versuchsweise auch im Waldstraßenbau zur Anwendung. Als Vorteile ergaben sich infolge des harten Fahrbelages eine minimale Abnützung und niedrige Baukosten. Der Unterhalt ist klein, da das Material auch widerstandsfähig gegen Witterungs- und Temperatureinflüsse ist. Der Straßenbelag erweist sich als plastisch, bietet eine gute Lastenverteilung und festigt sich beim Befahren durch die Walzwirkung der Fahrzeuge.

Der Arbeitsgang bei der Ausführung ist folgender:

1. Kastenaushub; in lehmigen Böden Drainage durch Steinpackungen.
2. Einbringen von Steinmaterial in zwei Schichten in einer Dicke von 16 cm. Dieses wird durch Walzen auf 12 cm zusammengepreßt. Es folgt eine 4 cm dicke Steinschicht aus hartem Material (30/60 cm ∅), die ebenfalls eingewalzt wird.
3. Eine Spezialemulsion von Teer, auf 60 bis 65 ° C erwärmt, wird auf die Gesteinsschicht in zwei Lagen (1,2 kg/m²) gespritzt, wobei jede Lage mit einer dünnen Kalkschotterschicht (5 l/m², 15—25 cm ∅) überdeckt und leicht eingewalzt wird. Es folgt ein Spezialbitumen, das kalt in drei Schichten von zusammen 2,4 kg/m² eingebracht wird, wobei jede Schicht von kalibriertem Aare- oder Rheinschlagschotter (zuerst 10/15 mm, dann 5/8 mm und zuletzt 1/3 mm ∅, je 5 l/m²) überdeckt und eingewalzt wird.

Eine solche neugebaute Straße sollte möglichst bald mit Lasten befahren werden, um eine rasche Stabilisierung der Fahrbahn zu erreichen. Diese Ausführung hat sich abgewandelt auch für die Modernisierung bestehender Straßen mit und ohne Steinbettunterbau bewährt. *v. Fellenberg*