

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 109 (1958)

Heft: 2

Artikel: Les nouvelles techniques dans la construction moderne de routes forestières; les liants goudron et bitume

Autor: Schaltenbrand, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766267>

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: 18.01.2026

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

Les nouvelles techniques dans la construction moderne de routes forestières; les liants goudron et bitume

Par *W. Schaltenbrand*, Porrentruy

La stabilisation chimique

Il y a beaucoup d'indices qui nous montrent déjà maintenant que la construction future de la route forestière se développera selon toute probabilité sur la base des principes du processus: «Compactage aux Composols».

Les propriétés mécaniques de sols et les liants hydrocarbonés ont été étudiés dans leur granulométrie, dans la régularité de leur concassage, dans la qualité des matériaux utilisés, dans la perfection du dosage en liant, dans la mosaïque de la bande de roulement antidérapante, tous ces facteurs nous assurent un maximum de durabilité, un minimum d'entretien, une qualité et portance exceptionnelle des routes munies de revêtements bitumeux.

Nombreux sont encore les scientifiques qui hésitent d'employer ce système ultra-moderne de construction de routes dans leurs forêts. Cette hésitation paraît un peu compréhensible quand on pense qu'il s'agit d'une nouvelle discipline dans le cadre des constructions récentes de routes et dont la réalisation semble occasionner quelques malaises en vue du fait que cette discipline n'a pas encore été enseignée en détails à l'école forestière. On peut aussi s'imaginer que la méconnaissance chimique des émulsions de goudron et de bitume crée une ambiance défavorable et manifeste par conséquent, quelques craintes de non réussite en cas d'application de ce mode de construction.

L'intérêt qu'excite — à juste titre — le compactage aux composols, nous a fait penser qu'il ne serait pas inutile de faire le point des nouvelles techniques appliquées dans la construction moderne de routes mettant ainsi les hésitants à leur aise.

Les nouvelles techniques comprennent les agrégats, la granulométrie des squelettes, la stabilisation physique, la fixation d'une ligne polygonale, les émulsions routières et la technique de répandage étant synonyme à la stabilisation chimique.

Les agrégats

Vous savez que la portance d'un sol est fonction de son angle de frottement interne dû à la présence du gros matériau qu'il possède et que l'on appelle «agrégat» ou «squelette» et de sa cohésion due à l'existence de matériaux fins appelés «Mortier».

Il importe de donner ici quelques indications sur le classement des

agrégats dont leur granulométrie est aussi importante que leur dureté et nature:

Fillers	=	sables de $1/10$ mm
Sables	=	graines de 2 mm
Grain de riz	=	2,5 à 5 mm = très gros sable
Gravillons petits	=	6,3 à 8 mm
Gravillons moyens	=	10 à 12,5 mm
Gravillons gros	=	16 à 20 mm
Pierres cassées: cailloux	=	25 à 80 mm
Bloc et moellons, petits et gros	=	100 à 315 mm

En ce qui concerne la nature des agrégats, il est à noter que pour les liants hydrocarbonés, les sables de calcaire sont à proscrire car ils ont tendance à s'écraser sous le poids des véhicules lourds et de former ensuite des pellicules de poussière très glissantes en temps de pluie. Les gravillons et pierres provenant de concassage sont, quant à leur compacité et stabilité sous charge supérieure aux gravillons roulés parce que l'angle de frottement interne dépasse celui du gravillon rond et leur cassure fraîche donne une meilleure adhésivité au liant.

Quant à la technique de répandage et pour ne pas s'exposer à des mécomptes, il est indispensable de répandre d'abord le gros gravillon, puis cylindrer légèrement et ensuite placer le fin ou le gros sable.

Les expériences nous ont montré que pour les usagers de routes stabilisées aux liants hydrocarbonés, aussi la forme des gravillons joue un grand rôle, car les gravillons en plaquettes ou en aiguilles sont les destructeurs des pneumatiques.

La meilleure forme étant la forme cubique, exigez de votre fournisseur des gravillons cubiques. Une autre exigence est de pouvoir disposer du gravillon propre et sec, sans poussière et exempt d'argile, sa répartition dans l'espace doit être régulière et la quantité ne pas dépasser nos indications au m^2 , ceci pour garantir une bonne adhérence et une résistance suffisante à la déformation. Il va de soi que pour assurer une bonne durée des revêtements, il faut que le sous-sol soit bien drainé, solide et stabilisé. Les gravillons poreux ne sont parfois secs qu'en surface et au contact du liant, l'humidité occluse peut exsuder et empêcher une bonne adhérence c.-à.-d. un bon enrobage.

Il s'avère souvent nécessaire de nettoyer le coffre de la boue et de l'argile pour ne pas les laisser pénétrer dans les pores du minéral (remontée de marne).

Granulométrie des squelettes

Pour assurer une compacité élevée, la granulométrie de l'ossature de la chaussée future doit réaliser des possibilités de certains mélanges homogènes d'éléments. Ce compactage est bon lorsque sa densité atteindra 94 à 95 %, cela veut dire que les vides existants dans le squelette représentent encore 5 à 6 %. D'ailleurs, après l'imprégnation chimique, ces interstices

diminueront encore dans quelques années sous l'effet de la compression du trafic à 1—2 %.

Selon la pratique, la granulométrie discontinue, réalisée moyennant l'utilisation des agrégats où les gros calibres sont nettement distincts des calibres qui les suivent, donnera la plus grande probabilité pour obtenir une compression convenable.

Nous avons obtenu une bonne densité des agrégats pour la route lorsque *le mélange homogène des éléments* est le suivant:

env. $\frac{1}{3}$ de gros matériel de la fondation (chaille) :	14 à 16 cm. Ø
env. $\frac{1}{3}$ de matériel moyen :	8 à 12 cm. Ø
env. $\frac{1}{3}$ de fin matériel :	2 à 5 cm. Ø

Le fin matériel remplira les vides, augmente la mobilité des éléments ce qui facilitera la compression du squelette.

Un max. de la résistance à la désagrégation et une grande portance nous sont assurés lorsque *le sous-sol, support de la chaussée est rigide et stable, ne montrant aucune tendance à la plasticité due à l'existence d'argile*. Si vraiment l'infrastructure du sous-sol ne possède pas une stabilité en tout temps; il est alors indiqué, à part la recherche à une résistance maximale à la compression, de prévoir une augmentation du liant.

Technique de compactage: stabilisation physique

Ayant constaté que bien des routes intercommunales s'étaient au bout d'env. 20 ans gonflées par l'humidification des poches marneuses en formant des bas-fonds et des bourrelets à côté de la bande de roulement provoquant ainsi la fissuration du revêtement et nécessitant alors le déblaiement des couches argileuses et la construction à neuf de la route. Cet état de chose est en somme dû à la présence de la marne n'ayant pas été enlevée dans le coffre lors de la construction de la route et à une insuffisance de l'entretien du liant qui à la suite des influences thermiques provoque une perméabilité du revêtement.

Rôle du rouleau compresseur

Le cylindre ou vibreur 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 est obtenue par le coincement des éléments et la compacité de l'ensemble remplace la résistance individuelle des pierres.

Le sous-sol de la chaussée doit répondre à certaines conditions physiques pour supporter un compactage des pierres formant les fondations. Ces conditions dépendent dans une large mesure de la composition du «mortier» de l'encaissement et de la présence d'un squelette plus ou moins nombreux. Si ce mortier est fortement argileux et que le «sque-

lette» fait pour ainsi dire défaut, ce sol peut être qualifié de difficile pour le cylindrage.

En cas de précipitations prolongées, il faudrait laisser sécher le mortier avant de commencer le compactage. Ce séchage demande selon l'intensité et la durée des précipitations — un certain laps de temps suivant la température et la ventilation de l'atmosphère. C'est au surveillant de juger lorsque le moment du cylindrage de la chaille est arrivé.

Un sol détrempe et soumis au compactage se plastifie, donne naissance à des remontées de marne qui pénètrent dans le minéral devenant ainsi impropre à l'imprégnation chimique.

Dans ces conditions, le poids du rouleau ne doit pas excéder 5 à 6 T. même lorsque le mortier est devenu à nouveau sec.

Le rouleau de 5 T. paraît suffisant en terrain dépourvu de pierres tandis qu'en sous-sol pierreux, carbonaté humique, le cylindre devrait avoir 10 à 12 T.

Le rouleau compresseur «Ammann» d'env. 5 à 6 T. possède une largeur de 1,55 m., d'autres rouleaux ont une largeur variant de 1,80 à 2,00 m et plus avec un poids de 10 T. et d'avantage. Ces engins peuvent augmenter de poids en remplissant les roues d'eau (l'est à varier).

Suivant nos expériences, l'utilisation des cylindres moins larges est préférable aux larges surtout sur nos artères forestières ayant, à l'exception des places d'évitement, une largeur carrossable seulement de 3 m. Le conducteur du rouleau doit marcher toujours à la même vitesse (Ire.), les démarrages et les arrêts ne doivent jamais être brusques mais lents en croisant les endroits. Cette technique nous aidera à éviter les dépressions, c.-à-d. des ondulations dans les pierres à compacter. Les roues arrières assurent le compactage tandis que la roue avant (tricycle) répartit le matériau. L'homme conduisant le rouleau se base toujours sur les roues arrières pour effectuer les croisements des pierres à cylindrer.

Il est évident que les pierres à tout venant sont à comprimer en deux couches différentes de 9 cm. d'épaisseur chacune avant compactage pour arriver à une épaisseur effective comprimée de 12 cm qui recevra ensuite des pierres calibrées de 15 à 25 mm très dures d'une profondeur de 4 cm.

A quel moment peut-on considérer le compactage comme étant terminé? c.-à-d. combien de passes faudrait-il pour comprimer une ou plusieurs couches de pierres?

On peut compter avec une vitesse du rouleau de 1 km/hre. Un cylindre de 10 T. marchant à 1 km/hre produit un travail de $10 \times 1 \text{ km} = 10 \text{ tonnes/km}$.

L'épaisseur des pierres compactées en 3 couches (22 cm avant la compression) $16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}^3 \text{ p. m}^2$. A chaque passe de 1 km, le rouleau compacte 1550 m^2 ($1000 \times 1,55 \text{ m}$ largeur du rouleau).

L'intensité du compactage au m² par passe sera de

$$\frac{10 \text{ T.} \times 1 \text{ km}}{1550} = 0,00645 \text{ T./km.}$$

Pour compacter 1 m³ de matériau, il faudra environ 2 à 5 T./Km.

Supposons qu'il y a 480 m³ à compacter pour 1 Km. $1000 \times 0,16 \times 3$, il faudra pour les mettre en place entre:

$$0,16 \times 2 \text{ T./Km.} = 0,32 \text{ T./Km. et } 0,16 \times 5 \text{ T./Km.} = 0,8 \text{ T./Km. au m}^2.$$

Pour obtenir le compactage total, il faudra entre:

$$0,32 \text{ T./Km.} : 0,00645 = 49 \text{ passes et } 0,8 \text{ T./Km.} : 0,00645 = 124 \text{ passes}$$

ou par couche de pierres entre:

$$\frac{49}{3} = 16 \text{ passes} \quad \frac{124}{3} = 41 \text{ passes.}$$

Fixation d'une ligne polygonale

Aujourd'hui, à l'époque de la mécanisation, le piquetage de routes devrait subir une modification aux endroits où l'on envisage de faire travailler des engins motorisés, comme des tracteurs pelles-excavatrices, des camions transporteurs, de rouleaux compresseurs, etc., étant donné que les piquets fixant le profil en long sont situés dans le tracé même ne pourront pas être conservés. Le contrôle des déblais et remblais, en raison des piquets-talons, arrachés ou enfoncés par l'utilisation de ces véhicules deviendra par le fait difficile, sinon impossible. Pour que l'ingénieur chargé de la surveillance des travaux à exécuter puisse les contrôler en tout temps, il sera alors nécessaire de fixer le profil en long et d'autres points de repaire encore par une ligne polygonale à proximité immédiate du chantier.

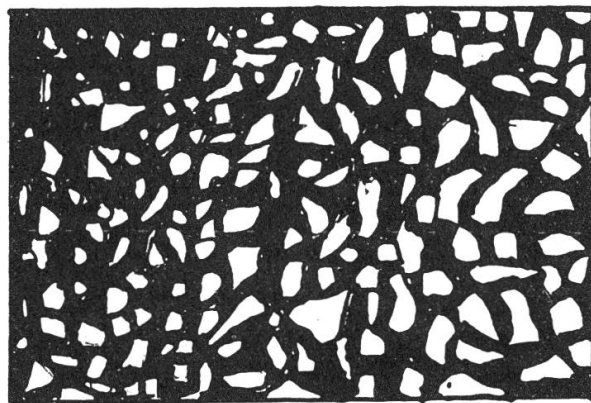
Par ailleurs, un contremaître expérimenté prendra dès le début des travaux ses dispositions pour que les points essentiels du profil en long soient transportés et fixés à côté du tracé de route. Ce travail bien intentionné est souvent inexact et devrait être exécuté au préalable par le technicien surveillant.

Si la nature du terrain de construction permettra la mise en œuvre d'un tracteur-pelle, plus ou moins grand selon la topographie du terrain, celui-ci accomplira le terrassement très rapidement en terrain normal mais seulement d'une manière grossière conservant une planie inégale et exigeant pour une finition impeccable selon les règles de l'art, une main-d'œuvre qualifiée. Cette dernière s'occupera outre de la planie, du réglage des talus et banquettes conformément au profil normal, des aqueducs, chambres d'orifice, pierres de bordure, etc.

Il est incontestable que par le passage répété d'une pelle-mécanique, camions et rouleaux, etc., le matériel déposé dans les remblais sera comprimé et tassé successivement.

L'encaissement est à nouveau dérangé lorsqu'on amènera sur le chantier des pierres faisant défaut partiellement ou complètement, pour réaliser la fondation suivant la nature physique du sous-sol et le temps, un enfoncement évent. de la planie doit être corrigée non pas avec de la terre mais avec du gravier. A nouveau, nous devons avoir recours à notre polygonale pour être fixée quant à la hauteur des couches de pierres avant et après compactage. Cette ligne polygonale nous semble idéale, nous renseignant en tout temps. Voilà de multiples raisons qui plaident en faveur de cette polygonale réunissant le max. de points de repaire et pouvant donner satisfaction au technicien à n'importe quel moment de la construction.

En plaine et en terrain légèrement incliné, en terre brune et en terrain argileux, un autre mode de faire pourrait être envisagé pour que la planie brute ne soit pas éventrée par l'utilisation des véhicules à moteur chargés, du transport de matériel (pierres, tuyaux, pierres de bordure, gravillons, émulsions, etc.) nécessaire à la construction de la chaussée et où les pierres manquent. C'est l'installation d'une voie «Décauville» avec wagonnets à proximité immédiate du chemin à construire permettant le transport et la répartition du matériel pierreux dans le coffre sans dérangement, même par mauvais temps. Cela nécessiterait alors une ou plusieurs places de dépôts de pierres à la fin de la trajectoire du camion. La mise en œuvre de ces précautions est absolument nécessaire car la stabilisation physique et chimique des pierres de la chaussée enrobées par l'argile deviendra illusoire.



*Mortier bitumeux gros de la bande de roulement grosseurs de grains
silicieux 3 à 5 et 5 à 8 mm — type: papier de verre*

Une manutention supplémentaire accompagnée d'un rencherissement des frais de transport en résultera mais permettant même pendant une période de pluies de continuer certains travaux ce qui est important pour l'entreprise chargée de la construction.

Coupe schématique du profil normal
du type : Compactage aux Composés.
figurant chaille & gravier en blanc
le mortier (goudron, bitume) en noir.

Parre de bordure
en béton armé

Couche de roulement
à gravillon siliceux
gravillon calcaire

Mortier bitumeux gros
Granulométrie 3-5 mm
Béton bitumeux fin
Granulométrie 5-8 mm
Béton bitumeux fin
de 10-15 mm
Béton bitumeux de 15-25 mm
Sous-couche de 4 cm
avec gravier concassé calcaire
dur à granulométrie continue
30 à 60 mm. Béton moyen
réalisé à chaud & à froid
combine

Gros Béton de sous-couche
à granulométrie continue
en calcaire de 20 - 180 mm.
Répartition: $\frac{1}{3}$ de 20-50 mm
 $\frac{1}{3}$ de 60-120 mm
 $\frac{1}{3}$ de 130-180 mm
Type réalisé à chaud & à froid

Gros Béton de sous-couche
même composition.

Pente 3-4 %

Porrentruy, en juin 1956.

Schaltenbrand W

Caractéristiques des émulsions routières

La base des émulsions routières du système: «Compactage aux Composés» sont les bitumes provenant du pétrole et les goudrons de houille.

Le bitume précieux et irremplaçable dans une vaste gamme de travaux par suite de ses propriétés extraordinaires était déjà fort bien connu dans le vieux temps.

En effet, dans le pays d'Irac, jadis appelé Mésopotamie, 3000 ans avant Jésus-Christ, une industrie florissante des bitumes paraissait exister.

A cette époque où résidait à Bagdad le fameux Calife Haroun al-Rachid, la civilisation Mésopotamienne florissait déjà depuis trois millénaires; Bagdad était le centre universel de culture et de science. (2)

Cette industrie de bitume restait compétement ignorée après la chute de Babylone en 538 avant Jésus-Christ, pendant plus de 2000 ans, par la civilisation occidentale.

La destruction du pays d'Irak en 1258 de notre ère par des hordes de Mongoles était-elle la cause de l'ignorance de cette industrie bitumeuse par l'Occident? (2)

Les goudrons employés dans la technique routière sont des produits obtenus par distillation de la houille et les bitumes du pétrole sont tirés des produits naturels ou encore obtenus de la distillation des produits extraits du pétrole.

Une émulsion routière est un mélange, une dispersion de deux constituants non miscibles l'un dans l'autre; elle sert à disperser surtout les substances hydrophobes dans des liquides hydrophyles.

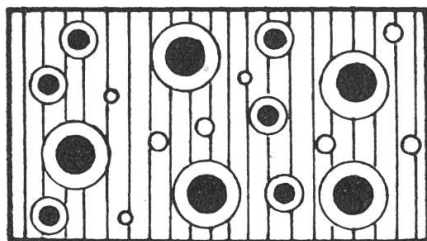
Une émulsion est donc un complexe à deux phases qui diffère des suspensions grossières par la finesse des globules ou des granules dispersés et par la stabilité du complexe obtenu.

La plupart des globules d'émulsions routières ont une grandeur d'ordre 1 à 5 μ ; donc beaucoup supérieure à un millimicrom. La surface énorme des globules développée par les émulsions de 1 gramme de bitume dispersé sous forme d'une émulsion à 50 % contiendra dans ses 2 cm³ plus de 15 milliards de globules d'un diamètre moyen de 5 μ , c.-à.-d. la surface totale de ces globules sera de 12 000 cm² pour 1 gr. de bitume. (1)

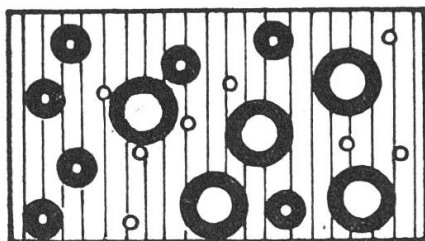
Par l'application de l'émulsion, il est devenu possible, grâce à la dispersion très grande des granules du liant, de répandre ce dernier à chaud et à froid sur le squelette en un film très fin mais homogène, à condition toutefois que l'adhérence au minéral qui est *d'ordre chimique* se fasse. Les émulsions rendent possible dans la technique routière de répandre à froid les liants très visqueux en arrière saison et époque précoce et de les faire adhérer à des matériaux légèrement humides et sans inconvénient si l'évaporation de l'eau d'émulsion se fait dans un temps non excessif.

Il y a deux types d'émulsions:

1. — *Les émulsions directes, ou O—W* appelées encore émulsions « Oil — Water » constituées par le bitume dispersé dans l'eau, c.-à-d. une gouttelette extrêmement fine d'eau possède dans son intérieur une gouttelette de bitume.
2. — *Les émulsions inverses (indirectes) ou W — O*, appelées: « Water — Oil » constituées par des globules d'eau dispersés dans le liant, c.-à-d. une gouttelette de liant possède dans son intérieur un globule d'eau.



Emulsion directe de bitume. Oil-Water
*gouttelette d'eau possède dans l'intérieur un globule de bitume
fortement grossie*



Emulsion indirecte de goudron. Water-Oil
*un globule de goudron possède dans son intérieur une gouttelette d'eau
fortement grossie*

Ces émulsions, conductrices de l'électricité, doivent être stabilisées pour ne pas s'altérer chimiquement. Cette stabilisation est réalisée moyennant l'adjonction d'un corps protecteur appelé *émulsif*. Beaucoup de corps émulsifs sont des électrolytes. Le rôle de cet émulsif consiste à abaisser la tension interfaciale entre les deux phases et à empêcher la soudure directe des globules venant accidentellement en contact.

Le phénomène de soudure de plusieurs éléments entrant en contact en formant un globule plus volumineux est appelé «coalescence» qui réalise finalement la rupture de l'émulsion, une séparation franche et complète des deux phases.

Les savons sont des émulsifs

Les émulsions peuvent être classées en 2 catégories:

- a) en émulsif ionisable;
- b) en émulsif non ionisable.

L'émulsif ionisable est constitué par les électrolytes qui se dissocient dans l'eau en deux fractions électrisées. L'une *l'anion = électricité négative*, l'autre *le cation = électricité positive*.

Les globules d'émulsions sont chargés d'électricité, cette charge étant un facteur de stabilité.

D'après la règle de «Coehn» qui est la suivante:

«Si une substance est dispersée dans une autre, la substance qui a la constante diélectrique supérieure est chargée positivement par rapport à l'autre», *la phase aqueuse d'une émulsion a une charge positive et la phase bitumeuse a une charge négative*. Autrement dit, les granules bitumeux d'une émulsion directe O—W sont chargés négativement, les globules d'eau dans une émulsion inverse W—O sont chargés positivement à l'exception des émulsions à pH acide.

Nous distinguons alors des émulsions basiques (pH 7 >) à savon alcalin (savons anioniques) et des émulsions acides (pH 7 <) savon cationique (savons métalliques, etc.). (1)

Les émulsions bitumeuses basiques (émulsions directes et courantes) et les émulsions acides (émulsions inverses de bitume ou de goudron) jouent un très grand rôle dans la technique routière pour des raisons de bonnes adhérences chimiques aux divers types de squelette, tantôt anionique en phase aqueuse (silex) etc., et tantôt cationique (calcaire de toute nature).

Le minéral calcaire étant alcalin (basique) possède une armature électrique positive tandis que les gravillons silicieux, silex, quartzites étant acides ont une charge électrique négative.

Tous les liants adhèrent bien aux minéraux hydrophobes (calcaires) et mal aux matériaux hydrophyles (siliceux).

Nous ne devons pas perdre de vue qu'une bonne plasticité du revêtement dépend de la présence d'une certaine quantité des huiles lourdes. Ces phénomènes ne seront réalisables que lorsque les températures et la ventilation sont bonnes.

La perte d'huile d'un liant plastique entraîne son durcissement et un accroissement de cohésion, de viscosité et de dureté, bien entendu jusqu'à une certaine limite. Cette limite passée, la cohésion diminue à mesure que la dureté augmente, le liant devient fragile et se fissure superficiellement.

Un liant hydrocarboné, goudron et bitume, étant un liquide colloïdal complexe, doit répondre au critérium suivant.

L'aptitude de garder une dureté adéquate, mais inférieure à la dureté limite et de la conserver vi-à-vis des variations de la température aussi constante que possible.

Mise en œuvre des émulsions de bitume

La chaussée est à nettoyer le mieux possible des poussières qui empêchent l'adhérence en cas de rénovation de routes bitumées existantes, elle doit être séchée, soit légèrement humide. Ne pas broser contre les vents (enlèvement de la boue de l'encaissement des routes à construire.)

Une nouvelle couche doit être répandue seulement lorsque la précédente est bien rompue (quelques heures) sinon, on a des remises en émulsion ultérieures très nuisibles, l'émulsion qui a pénétré étant à l'abri de l'évaporation et la rupture est par conséquent retardée. La mosaïque bitumeuse du revêtement doit être rendue indéformable en utilisant le minimum de liant compatible avec une résistance à la cohésion. Lorsque l'émulsion est coagulée, ce processus est annoncé par un changement de couleur du brun au noir. D'autre part, il y a lieu de faire *la preuve du pouce pour savoir si le liant adhère bien chimiquement au minéral*.

A plusieurs reprises déjà, nous avons dû constater que pendant les périodes humides et froides de l'arrière saison et aussi lorsque la température baisse au-dessous du point de congélation de l'eau, qu'il n'y a pas d'adhérence aux squelettes parce que la rupture de l'émulsion est déficiente. Il se forme aux pierres alors une petite peau superficielle renfermant de l'eau arrêtant sa vaporisation et par conséquent empêche le bitume d'adhérer au minéral chimiquement.

Les émulsions mises en œuvre et soumises au séchage produisant — après un certain temps une certaine concentration — par l'évaporation de l'eau d'abord, des huiles légères fluidifiantes et volatiles ensuite en entraînant en même temps celle des huiles plastifiantes plus lourdes en quantité suffisante afin d'assurer une bonne adhésivité. Ce processus appelé aussi *prise du liant* en couche mince et homogène ne demande que quelques heures par jour ensoleillés et chauds elle peut se prolonger au delà d'une semaine en cas de mauvais temps.

Comme nous le voyons, *les conditions* de rupture de l'émulsion sont influencées *par les phénomènes d'évaporation et de capillarité* elle est retardée de plusieurs heures par la pluie et le brouillard et accélérée par temps sec, chaud ou par temps de vent.

Si l'émulsion stockée est exposée aux gelées blanches, sa stabilité compromise par la congélation de l'eau entraîne l'élimination du complexe hydraté qui ne peut plus se reformer au dégel et l'émulsion tranche.

Pour la technique routière, il importe que l'adhésivité du liant aux minéraux soit maximale et résiste au décollement par l'action mécanique et par conséquent à la détérioration du revêtement, surtout en présence de l'eau.

Le surveillant des travaux doit veiller à ce que le squelette soit propre et sec et que le mouillage du liant ne soit pas empêché par l'interposition de matières fines de poussières colloïdales humiques ou argileuses. Un

minéral propre et sec donnera toutes les assurances pour que certaines fractions de résines du goudron et bitume soient adsorbées à sa surface.

Pour réaliser une soudure convenable des globules de liant à l'ossature de la route (calcaire et siliceux) qui est *d'ordre chimique*, il faut que l'évaporation de l'eau de l'émulsion se fasse vite, sinon le liant n'adhère que d'une façon insuffisante.

Nous distinguons deux modes de rupture (coagulation) des émulsions routières.

1. Rupture par contact et
2. Rupture par évaporation de la phase aqueuse.

1. — Au contact du squelette de la chaussée, l'émulsion se rompt immédiatement parce que l'adsorption de l'émulsif — corps protecteur des granules de liant — par la capillarité de la surface de l'ossature — entraîne un appauvrissement de la protection des globules qui conduira à la rupture de l'émulsion.

2. — Par l'évaporation rapide de la phase aqueuse de l'émulsion, la coagulation se fait, elle consiste en une séparation franche des deux phases en présence.

La tendance à la rupture est accrue lorsqu'il y a concentration de liant dans les émulsions. Cette concentration est atteinte par l'évaporation de l'eau. Lorsque cette concentration de liant atteint 75 à 82 %, les émulsions à rupture rapide se rompent. D'autres émulsions à rupture semi-lente exigent 90 à 92 % et les lentes 92 à 95 % de concentration pour se séparer.

Ces liants contenant ces huiles en quantité suffisante (pas plus que 60 %) seront fournies par les industries routières spécialisées nous donnant ainsi la garantie contre un vieillissement prématuré.

Technique des répandages: stabilisation chimique

Les répandages d'émulsions peuvent être exécutés à chaud ou à froid. Ce sont les émulsions directes de bitume à froid et les émulsions indirectes de goudron à chaud qui nous intéressent.

Différents calibres de gravillons sont utilisés. (Des gravillons de dimensions 15/25, 10/15, 5/8 et 3/5.)

On peut utiliser deux calibres de gravillons successifs, éviter alors de répandre d'abord le fin gravillon, puis ensuite le gros, il faut au contraire, placer d'abord le gros puis le cylindrer légèrement et ensuite épandre le fin.

Quant à l'émulsion de goudron, il ne faut pas la surchauffer (60 à 65 %). La surchauffe détruit l'émulsion, fait partir les huiles légères et diminue le pouvoir d'enrobage.

Il faut respecter les directives données quant à la quantité des émulsions à répandre (voir traitement de base et supérieur).

Un excès de liant au m² risque du ressuage, des ondulations et des chaussées glissantes parce qu'il y a remontée du liant au-dessus de la mosaïque par l'influence thermique du soleil et de la circulation de la route.

Une insuffisance par contre provoque une cohésion insuffisante des gravillons et le revêtement manque d'étanchéité et de tenue.

Selon nos expériences, il y a lieu d'étendre la couche à chaud de l'émulsion de goudron d'une seule fois soit 1,2 kg au m² (monocouche) — traitement de base — tandis que les émulsions de bitume à froid sont à répandre en tri-couches (traitement supérieur).

La résistance des gravillons doit être uniforme et exempte de matériaux tendres (proscrire l'emploi de gravillons mélangés à des matières chisteuses, gypseuses et calcaires) et son état doit être sec.

Les récents progrès dans la technique des liants résident non seulement dans le dosage du liant au prorata de sa viscosité, de la circulation, de la grosseur des gravillons mais aussi dans la granulométrie des revêtements dans le sens d'une augmentation de leur durée tout en accroissant la sécurité (antidérapant) par la suppression des glissades.

Influence climatologique

Le succès final résultant de l'application des liants hydrocarbonés en technique routière dépend des conditions — limites d'ambiance et de climat.

Sous le régime du beau temps, une bonne réalisation est assurée.

Des pluies violentes ou prolongées empêchent l'adhésivité du liant aux minéraux. Le degré hygrométrique de l'air ainsi que les brouillards ont une influence de retardement sur le mécanisme de rupture et sur l'adhérence du liant aux pierres. Cette adhésivité est réalisée seule avec un temps suffisamment sec et chaud. La condition principale est alors *l'accroissement rapide de la viscosité* du liant avant l'apparition des pluies prolongées ou averses violentes. *La vaporisation rapide des huiles en excédant de l'émulsion provoque une augmentation de la viscosité et, par conséquent, la faculté d'enrobage des pierres s'accroît.* Cet accroissement de viscosité conduit à une bonne cohésion interne du liant tout en accélérant sa résistance au décollement des gravillons par l'eau de pluie.

L'épandage du liant se fait sur une surface sèche et le gravillonnage suit aussi vite que possible le répandage pour que la surface du gravillon sec soit bien mouillée par le liant encore fluide.

Le cylindrage doit suivre aussi rapidement que possible le gravillonnage.

Il semble prudent d'éviter de répandre ces liants au delà du 30 septembre, ne pas dépasser le 20 octobre (cette condition dépendra de la saison, température douce ou température trop basse).

Une supériorité des émulsions de bitume sur les liants à chaud réside précisément dans la faculté de pouvoir être répandue sans chauffage préalable et aussi de pouvoir être utilisées sur chaussée et agrégats humides.

L'avantage de ces émulsions à froid en arrière-saison ou saison précoce

est de donner une viscosité suffisante. L'émulsion ne se fige pas instantanément comme le liant répandu à chaud et que le liant peut adhérer sans risques. La raison de cette faculté étant basée sur le mécanisme correct du produit lorsque l'évaporation de l'eau a atteint un certain degré. En automne, la vaporisation est — à la suite de l'abaissement de la température — retardée ou même arrêtée par l'existence d'un degré hygrométrique élevé de l'air, par l'absence d'une bonne ventilation, par la présence des brouillards, etc.

Passé le délai du 20 octobre dans notre pays, la rupture de l'émulsion ne se fait plus correctement et au lieu que le bitume se soude à la paroi des pierres, il se forme une peau de bitume en surface arrêtant le processus de séchage.

Influence du trafic

Il est connu que si la granulométrie de l'ossature de la route est correctement composée, les vides existants après compactage et enrobage du liant sont à peu près comblés.

Le squelette stabilisé d'abord physiquement et ensuite chimiquement ne doit non seulement être rigide mais aussi être en même temps plastique pour pouvoir supporter les efforts mécaniques provoqués par les lourdes charges et par l'action d'arrachement néfaste des pneumatiques modernes.

Il est alors compréhensible qu'une artère soumise à un trafic intense et lourd doit être munie d'un revêtement suffisamment épais qui répartit mieux les pressions. Un tapis trop mince risque sous les fortes charges durant l'été de subir le cisaillement ou se fissurer pendant l'hiver suivant les variations ambiantes thermiques.

De son côté, le sous-sol doit être absolument stable et rigide et avoir une stabilité en tout temps. Si cela n'était pas le cas, il nous faudrait rechercher la résistance maximale à la compression et une certaine richesse en liant donne toutefois plus de souplesse et de faculté d'autoréparation et d'adaptation complète. Cette richesse en bitume ne doit cependant pas dépasser $\frac{1}{7} = 500$ grammes de la quantité prévue si on ne veut pas courir le risque que l'angle de frottement interne tombe de 35° à une valeur inf. de 20° . Pour parer à une fissuration du tapis provoquée par des mouvements très lents du sous-sol, une autoréparation par cette richesse en liant est donc réalisable.

Ces mouvements du sous-sol peuvent se dessiner aux fondations importantes et récentes qui ont été comprimées d'une manière incomplète. Il faut laisser se tasser les grands remblais pendant l'hiver pour éviter des mouvements subséquents.

Les revêtements bitumeux possèdent un facteur de dilatation plus élevé que celui des roches et empièvements et, par suite de rétraction thermique par temps de grands froids, on peut observer des *fissurations*

d'un tapis trop pauvre en liant ou encore exécuté avec un bitume trop dur.

On sait que le bitume vieillit très lentement et la science cherche à ralentir ce procédé en lui incorporant en faibles quantités certaines additions.

Les propriétés mécaniques des sols traités aux liants hydrocarbonés, nous assurent un max. de durabilité, de portance et un min. d'entretien et une qualité exceptionnelle des revêtements de routes.

Cette étude traitant tous les aspects scientifiques et pratiques des nouvelles techniques à appliquer dans la construction moderne de routes forestières se fixait le but d'en orienter les ingénieurs forestiers et de créer une ambiance de confiance leur permettant de s'engager sans hésitation dans cette nouvelle voie de réalisation.

La nouvelle route correctement exécutée selon ces techniques du type «Compactage aux Composols» ne demandera pendant 20 ans aucun entretien dû à l'usure de la bande de roulement par la fréquentation des véhicules transporteurs et c'est *cet entretien futur quasi inexistant qui est d'une importance capitale pour notre économie forestière.*

Toutes ces questions ayant été résolues du côté pratique épaulées par la science et l'application du système «Compactage aux Composols» deviendra pour les entreprises routières et aussi pour les ingénieurs chargés de la surveillance, un jeu d'enfant.

Entretien de routes construites et rénovées selon le processus «Compactage aux Composols»

Nous avons déjà mis en relief les avantages des routes modernes réalisées aux Composols, caractérisées par une stabilité aux intempéries, une portance extraordinaire (22 T.), une résistance maximale à l'usure. Une chaussée exécutée selon les principes de la stabilisation physique et imprégnée dans une ambiance adéquate aux liants hydrocarbonés avec un dosage en liant et gravier conforme aux normes données, résiste à l'usure de la bande de roulement d'une façon merveilleuse.

En effet, d'après les mesures effectuées à Amsterdam, *l'usure annuelle* du revêtement bitumeux d'une chaussée accusant une fréquence énorme de véhicules motorisés n'est que 0,10 à 0,17 mm. La bande d'usure de ces routes ne possède cependant pas la même composition que celle réservée à notre type aux Composols. L'entretien de ce tapis bitumeux résultant des efforts mécaniques des pneumatiques par leur mouvement d'arrachement étant donc quasi négligeable.

A titre de comparaison, nous faisons remarquer qu'un chemin forestier de l'Etat «Sous les Minoux» ayant été doté d'un tapis bitumeux en 1935 dans le but de combattre la poussière a cause du nouvel hôpital se trouvant à sa proximité immédiate, a supporté une circulation journalière intense

durant une période de 21 ans sans aucune retouche ni entretien. Cette route a dû supporter encore en plus la charge de milliers et de milliers de tonnes de matériaux nécessaires à l'édification d'un 2^e grand hôpital qui vient d'être terminé.

Le bitume s'était usé jusqu'à quelques taches et pourtant ce tapis n'était pas formé pour résister au trafic rapide d'automobile. La route sous ce revêtement était dans un état parfait. Avec le profil spécial du type aux Composols choisi pour la bande de roulement, nous pouvons prétendre que pendant 20 ans, son entretien dû à l'usure normale du tapis par la circulation eut été pratiquement inexistant. Cependant, lorsque l'on sait que toute matière première est susceptible de vieillir avec le temps et pour combattre le vieillissement prématuré du bitume exposé aux agents atmosphériques et à la circulation, il est alors logique et correspond au bon sens d'appliquer un traitement de surfacage au bout d'une dizaine d'années. Cette application de bitume à froid nous paraît nécessaire non pas à cause de l'usure minime mais plutôt pour lutter efficacement contre le vieillissement du bitume; c'est dire pour entretenir sa *plasticité*.

Nous savons que les liants hydrocarbonés plastiques perdent au courant des années qui suivent leur mise en œuvre par vaporisation et oxydation de certaines huiles sous l'influence de températures élevées et de la ventilation subissant ainsi une certaine transformation extrêmement lente, c'est le *vieillissement*.

Il est à retenir que le comportement d'un tapis d'une chaussée très fréquentée est meilleur que celui d'une route peu circulée. Les craquelures évent. superficielles se referment sous l'action mécanique de la circulation et à l'aide d'une température adéquate. La vitesse d'évaporation des huiles du liant est fonction de l'atmosphère qu'il entoure, mais on doit aussi tenir compte que cette évaporation d'huiles légères entraîne mécaniquement une partie des huiles lourdes. Ce processus étant favorisé par la diffusion des huiles des parties les plus riches vers les parties appauvries qui se fait d'autant plus lentement que le milieu est visqueux. De ce fait, la viscosité s'accroît rapidement quand la proportion d'huiles dispersantes diminue et il y a rétention dans ces liants concentrés entraînant finalement une diminution des huiles légères. Il est alors clair que la perte d'huiles d'un liant plastique provoque son durcissement, accroît sa viscosité et sa dureté tout en augmentant sa cohésion.

Nous savons aujourd'hui que les revêtements d'une chaussée sont protégés contre le vieillissement par la présence des *huiles anthracéniques moyennes et lourdes*.

Ces liants contenant ces huiles en quantité suffisante seront fournis par les industries routières spécialisées nous donnant ainsi la garantie contre un vieillissement prématuré.

Analyse du calcul d'entretien d'une route bitumée (lutte contre le vieillissement)

	cts/m ²
Fourniture, épandage d'une bi-couche de 1,5 kg/m ² de Composol B	59,2
5 litres/m ² de gravillons ⁵ / ₈ et ³ / ₅	32,5
cylindrage léger	5
nettoyage du chantier	5
	<u>101,7</u>
bénéfice	17,2
impôts	2,6
<i>Total</i>	<u>121,5</u>

pour 10 ans ou par an 12,15 cts/m².

Quand à l'entretien courant de la chaussée bitumée provoqué non pas par l'usure de la bande de roulement due à la circulation mais plutôt par des méthodes d'exploitations forestières surannées en opposition avec une sylviculture moderne, ces dommages peuvent être réparés par le garde-forestier sans qu'il soit instruit spécialement. Nous disposons aujourd'hui de matériel d'entretien préfabriqué ayant la même composition que l'agrégat du tapis. Le trou creusé évent. dans le revêtement est à broser et à remplir le plus vite possible avec du matériel préfabriqué jusqu'au niveau de la chaussée en le damant avec une bûche de bois. De cette manière, la soudure et l'étanchéité avec la route existante sont garanties.

La tonne de ce matériel préfabriqué est vendue départ usine à raison de Fr. 70.—.

Comparaison des frais de construction de routes forestières du système classique et du compactage aux Composols en Ajoie

Système de construction	Frais de construction dans un coffre préparé par m ²
Largeur 3 × 1 m = 3 m ²	
Empierrement classique	Fr. 31.20 *
25 cm d'emp. + 10 cm de gravier	
COMPOSOLS	Fr. 25.80 **
* <i>Système classique:</i>	
Fourniture, transport de pierres d'empierrement	0,75 m ³ à Fr. 22.— = Fr. 16.50
Fourniture, transport de gravelage	0,30 m ³ à Fr. 20.50 = Fr. 6.15
Répartition du matériel	1,05 m ³ à Fr. 1.— = Fr. 1.05
Pose de l'empierrement , , ,	3,00 m ² à Fr. 2.50 = Fr. 7.50
	<u>= Fr. 31.20</u>
** <i>Système Composols:</i>	
Fourniture, transport de chaille d'une granulométrie prescrite, répartition, épandage de deux couches (18 cm avant compactage — 12 cm compactés) additionnées d'une couche de gravier dur de 4 cm d'épaisseur calibré le tout cylindré et traité ensuite aux Composols A + B (3,6 kg/m ²) avec fourniture de gravillons calcaires et siliceux compactés: 3 m ² à Fr. 8.60	= Fr. 25.80
Il en résulte une différence en faveur du Composol	<u>= Fr. 5.40</u>

Nous faisons encore une fois ressortir qu'une économie dans le déblais du coffre de 0,57 m³. par ml. est assurée avec le type aux Composols, mais pas calculée dans cette différence de Fr. 5.40.

Il est bien entendu que le traînage de bois sur les routes forestières non recouvertes de neige fut défendu chez nous depuis fort longtemps déjà et l'abattage du bois à proximité des chemins s'opère à l'aide de câbles nous permettant de les coucher aux endroits propices. Le dévalage du bois en terrain rapide sera exécuté au cabestan ou au treuil motorisé ménageant ainsi mas et route.

Chaque sylviculteur sait qu'une large tranchée de forêt le long des artères forestières n'est pas considérée comme une surface productive perdue. A ce titre, les instructions d'aménagement des forêts du canton de Berne ne demandent pas que les surfaces de chemins carrossables soient déduites comme superficies improductives. Inutile de dire que les bois le long des routes possèdent un diamètre plus grand que ceux situés dans l'intérieur du massif, ceci pour des raisons bien connues.

Les inconvénients qu'on voudra attacher au type de construction «Compactage aux Composols» sont pratiquement inexistantes.

En résumé, nous devons dire qu'au point de vue pratique, nous sommes aujourd'hui en mesure de construire des routes modernes relativement économiques selon le processus «Compactage aux Composols» dont le critère est le suivant:

Route de grande portance, praticable pendant toute l'année (période de dégel y comprise) antidérapante et indépendant de la pente, stable en tout temps, contraire aux routes d'Etat devenant lisses. Usure minimale, résistant aux mouvements d'arrachement des pneumatiques, érosion nulle, plastique offrant aux usagers une assise sûre et rugueuse.

Entretien simple et économique. Sa bande de roulement conçue spécialement avec une granulométrie et matériaux déterminés assure à chaque usager une sécurité inconnue jusqu'à ce jour.

Les routes classiques existantes, rénovées aux liants hydrocarbonés, acquièrent les mêmes propriétés que les routes neuves.

Bibliographie

1. Liants Hydrocarbonés par M. Durriez et J. Arrambide. 1954.
2. L'Irak, royaume de l'espoir levant, Sélection octobre 1957 par Edwin Müller.
3. 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, Porrentruy.

Zusammenfassung

Der Verfasser behandelte hier die verschiedenen Aspekte der neuen Straßenbautechnik, welche die Granulometrie der Aggregate (Steinmaterial), die physikalische Verdichtung sowie die chemische Stabilisierung unter Verwendung von Teer und Bitumen als Bindemittel, umfaßt.

Zur Erreichung einer hohen Verdichtung des im Oberbau verwendeten Steinmaterials (94–95 %) ist die richtige Wahl der Granulometrie und eine homogene Mischung der Aggregate unerläßlich.

Eine maximale Widerstandsfähigkeit gegen Abnützung und Auflösung der Straßenrollschicht aus Bitumen wird nur erreicht, wenn dessen Unterbau, als Träger der Straße, eine unter allen Umständen unveränderliche Stabilität aufweist. In diesem Zusammenhang wird auf die Rolle der Straßenwalze und auf die Rollierungstechnik hingewiesen.

Wo der Einsatz von Maschinen im Straßenbau geplant ist, sollte die Absteckung der Wegachse durch einen Polygonzug in unmittelbarer Nähe ersetzt werden, um eine einwandfreie Konservierung der Bauhöhen zu gewährleisten.

Die Basis der im modernen Straßenbau verwendeten Emulsionen bilden die Bitumen des Petrols und die Teere der fossilen Kohle (Destillation).

Durch die Anwendung der Emulsion ist es möglich geworden dank der sehr großen Dispersion der Bindemittelteilchen, diese letzteren kalt und warm auf das Skelett in Form eines feinen, homogenen Films zu spritzen, unter der Bedingung allerdings, daß die Adhäsion am Mineral, welche chemischer Natur ist, sich vollzieht.

Zur Orientierung sei erwähnt, daß 1 Gramm Bitumen in einer Emulsion zu 50 % in mehr als 15 Milliarden Körperchen aufgeteilt wird, deren mittlerer Durchmesser etwa 5μ beträgt. Die totale Fläche dieser Körperchen beträgt etwa $12\,000 \text{ cm}^2$ für 1 cm^3 Bitumen.

Die basischen Bitumenemulsionen (PH 7 und $>$) und die sauren Emulsionen (PH 7 und $<$) spielen in der Straßentechnik eine sehr große Rolle aus Gründen der guten chemischen Adhäsion zu den verschiedenen Aggregaten.

Der Kalkstein ist alkalisch und elektrisch positiv geladen, während der Rhein- und Aareschotter sauer reagiert und eine elektrische negative Ladung besitzt.

Die chemische Adhäsion am Mineral geschieht nach folgendem Mechanismus:

1. Trennung der Emulsion durch Kontakt mit dem Steinmaterial.
2. Trennung der Emulsion durch Wasserverdunstung.

Der Schlußerfolg über die Anwendung der kohlenwasserstoffhaltigen Bindemittel hängt vom klimatologischen Einfluß ab.

Der Erfolg ist bei schönem Wetter garantiert.

Wichtig ist, daß nach dem Spritzen jeder Bindemittelschicht sofort gesandet und sofort gewalzt wird und daß die nächste Bitumenschicht erst nach der positiven Daumenprobe in Angriff genommen wird.

Der Straßenbau im Compositolverfahren ist billig und der Unterhalt zufolge der außerordentlich kleinen Abnützung äußerst gering und ökonomisch.