

## ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES ROUTES

---

En une trentaine d'années, le trafic forestier s'est profondément modifié grâce au prodigieux développement des moyens de transport automobiles, lié à l'emploi des bandages pneumatiques sur les roues des véhicules et des liants hydrocarbonés sur les chaussées.

De ce fait, les techniques de construction des routes ont plus rapidement évolué en trente ans que dans les trois siècles précédents, et le mode « classique » d'établissement des chaussées sur fondation en hérisson surmonté d'un empierrement, dont le dernier perfectionnement est le Macadam, a tout à coup vieilli et peut quelquefois nous sembler désuet.

Si dans des pays plus neufs que le nôtre on a pu construire directement un réseau routier correspondant au mode actuel de transport automobile avec des techniques appropriées, au contraire, il a fallu, chez nous, adapter au nouveau trafic des milliers de kilomètres de chaussées construites pour les voitures à chevaux.

Cette adaptation a été difficile par suite de la grande extension de notre réseau routier d'une part et d'autre part de son utilisation simultanée par des véhicules automobiles de plus en plus lourds, rapides et nombreux, et par des véhicules agricoles ayant encore des jantes ferrées.

Nous nous proposons d'étudier, dans le cadre restreint des routes forestières, les possibilités d'emploi des techniques nouvelles de construction que l'on commence seulement à utiliser, car la pénurie de pneumatiques due à la guerre a retardé la disparition des chariots à jantes ferrées et leur circulation sur les routes forestières n'a pu être interdite que dans quelques régions depuis deux ou trois ans au plus.

Cette transformation des moyens de transport s'accompagne d'une modification du mode d'usure des routes. Les véhicules hippomobiles chargés à 6 tonnes au plus, donnent lieu par les bandages métalliques des roues, à des pressions unitaires très élevées, en particulier lorsqu'une roue passe sur une saillie (tête de chat) de la chaussée. Cela produit des efforts de cisaillement assez considérables pour donner naissance à des ornières.

Les véhicules automobiles modernes font subir à la chaussée d'autres efforts; tout d'abord, si les pressions sont mieux réparties par les bandages pneumatiques que par les roues métalliques, les

tonnages sont beaucoup plus élevés et dépassent souvent 25 tonnes, ce qui exige de la part, non plus de la chaussée proprement dite, mais de sa fondation, une stabilité suffisante pour ne pas s'enfoncer.

Par contre, la pression s'exerçant sur la surface de la chaussée est beaucoup plus faible que pour les bandages pleins. Elle est du même ordre de grandeur que la pression de gonflage des pneumatiques, la surface de contact entre ceux-ci et le sol augmentant avec la charge supportée grâce à leur élasticité.

La surface de la chaussée ne connaît donc plus le cisaillement des bandages métalliques, mais elle subit des efforts nouveaux dus à la succion des pneumatiques ainsi qu'aux démarrages, accélérations, freinages et dérapages inhérents à la traction automobile.

Ces efforts augmentant avec la vitesse des véhicules deviennent importants dès que celle-ci atteint vingt kilomètres à l'heure, allure couramment dépassée non seulement par les voitures de tourisme qui fréquentent nos routes forestières pour la promenade et la chasse, mais aussi par les camions forestiers lorsqu'ils roulent à vide.

L'empierrement cylindré résistait bien aux efforts de cisaillement et d'écrasement des véhicules hippomobiles à bandages métalliques. Par contre, il ne résiste pas bien aux efforts d'arrachement des pneumatiques des véhicules automobiles à cause du manque de cohésion, les pierres n'étant liées entre elles que par un sable argileux qui ne joue le rôle de liant que lorsqu'il est humide sans être ni détrempé, ni trop sec. Les pierres sont déchaussées et la route devient plus ou moins vite un chaos de pierres roulantes.

On a pu adapter les chaussées empierrées à la circulation automobile, en les recouvrant d'une couche de roulement de gravillons liés au goudron ou au bitume, ce qui soustrait l'empierrement aux efforts superficiels des pneumatiques. On a cependant rencontré quelques difficultés pour faire adhérer cet enduit à l'ancien empierrement, non seulement celui-ci doit être soigneusement balayé, mais encore faut-il employer des liants différents suivant la température et l'humidité. Lorsque l'on doit recharger une chaussée empierrée ou que l'on en construit une neuve, on améliore la cohésion de l'empierrement lui-même en substituant au liant sable-argile utilisé dans le macadam à l'eau, soit un liant hydrocarboné comme dans la technique très employée de la « Semi-Pénétration », soit un liant hydraulique avec lequel on obtient un Macadam-Mortier. On préfère en général la Semi-Pénétration qui ne présente pas les inconvénients du Macadam-Mortier d'attendre huit jours la prise du ciment avant de livrer la chaussée à la circulation et d'avoir par la suite des réparations difficiles.

La tendance actuelle semble s'orienter vers l'emploi de pierres et de gravillons enrobés à l'avance de goudron et de bitume à chaud dans une centrale. Ce procédé assure une bien meilleure adhérence du liant sur les pierres et le prix de ces produits Tar ou Bitu-Ma-

cadam ou gravillon jadis très élevé, tend à baisser par suite de la généralisation de ce procédé.

Cependant, quel que soit le procédé utilisé, la construction d'une chaussée empierrée coûte fort cher quand il n'existe pas à proximité une carrière de bonnes pierres. Les techniques assez récentes de stabilisation des sols permettent dans bien des cas la construction économique de chaussées en utilisant les matériaux locaux. Ces chaussées ne peuvent en général supporter que des bandages pneumatiques.

Avant d'énumérer ces procédés, il est nécessaire de se rappeler les propriétés mécaniques des sols.

#### ETUDE DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES SOLS

Les recherches sur les propriétés mécaniques des sols sont assez récentes. Elles ont été poursuivies très activement en Amérique pendant la dernière guerre en raison de l'importance prise par les pistes d'aérodromes.

Un sol contient en proportions variables trois éléments : des matières solides, de l'eau, de l'air.

Les vides entre les matières solides sont remplies d'eau et d'air, les proportions réciproques de ces éléments peuvent se mesurer au laboratoire ou même plus ou moins facilement sur le terrain.

On peut déterminer : la teneur en eau, la porosité, l'indice des vides, les densités absolue et apparente du sol.

Les dimensions des matières solides ont une grande importance car les proportions des grains de chaque dimension déterminent la « *granulométrie* » du sol. L'analyse granulométrique se fait par tamisage du sol desséché pour les éléments de grosseur supérieure à 0,5 millimètre et par décantation ou plus exactement par lévigation fractionnaire pour les éléments plus fins. Les résultats de l'analyse se traduisent par une courbe granulométrique caractéristique du sol étudié.

Cette courbe ne suffit pas à déterminer les propriétés mécaniques du sol car elles peuvent être profondément modifiées par les variations de la teneur en eau qui joue un rôle primordial dans la cohésion des éléments, principalement des éléments fins.

Or, la force portante d'un sol est fonction : de son angle de frottement interne dû principalement aux gros matériaux qu'il contient et que l'on appelle « Agrégat ou Squelette » et de sa cohésion due aux matériaux fins que l'on appelle « Mortier ». La cohésion varie beaucoup avec la teneur en eau, tandis que l'angle de frottement reste à peu près constant. C'est pourquoi un sol ne contenant que des gros matériaux, comme un empièchement, aura toujours la même force portante, tandis que celle d'un sol contenant une forte proportion d'éléments fins sera très variable ; c'est le cas des sols argileux qui se transforment en boue liquide quand ils sont détrem-

pés et en poussière quand ils sont trop secs, mais qui deviennent consistants pour un certain degré d'humidité.

Selon l'imperméabilité et la porosité du sol, une partie des eaux pluviales s'y infiltrent et le détremper jusqu'à une profondeur plus ou moins grande suivant l'abondance et la durée de la précipitation. Il y a donc deux facteurs influençant l'humidification du sol par la pluie : un facteur dépendant du sol lui-même, imperméabilité ou porosité et le facteur climat. En effet, une courte pluie ne pénètre que peu profondément car elle est suivie du phénomène d'évaporation, au contraire, des pluies continues ou bien la fonte des neiges peuvent détremper le sol sur une grande profondeur. Il faudra donc, dans bien des cas, le protéger contre les infiltrations d'eau de pluie par un revêtement imperméable et évacuer les eaux pluviales aussi loin que possible.

D'autres sources d'humidité souvent plus dangereuses que les eaux pluviales sont les remontées capillaires qui se produisent lorsque le sol argileux, contenant donc une forte proportion d'éléments fins, comporte à faible profondeur une nappe d'eau ; celle-ci est parfois alimentée sous les routes par les fossés quand ils n'ont pas d'écoulement.

L'action des remontées capillaires est renforcée par le phénomène du gel, le refroidissement du sol s'opère d'abord en surface, puis, petit à petit, gagne en profondeur.

Or, la partie gelée se comporte comme un sol sec et attire l'eau libre du sol sous-jacent non encore gelé ; ce phénomène est capable de provoquer, dans les sols à fortes remontées capillaires, la formation de « lentilles de glace » dans les porosités où les premiers cristaux de glace formés se nourrissent et peuvent grossir indéfiniment jusqu'au dégel, cela gonfle le sol et détruit sa structure.

Le dégel se produit en sens inverse, ce sont les couches superficielles les plus riches en « lentilles de glace » qui dégèlent les premières ; elles se trouvent alors sursaturées d'eau et le mortier (éléments fins du sol) se trouve amené à l'état liquide.

Selon sa teneur en eau, un sol est : dans l'état liquide, dans l'état plastique, dans l'état solide.

Les limites séparant ces divers états sont appelées « *limites d'Atterberg* ». Ce sont les teneurs en eau correspondant au passage d'un état à l'autre.

On détermine expérimentalement par des essais standardisés la « *limite de liquidité* » et la « *limite de plasticité* » des éléments fins (mortier) d'un sol.

L'écart entre les deux limites s'appelle « *Indice de Plasticité* ». Cet indice est une caractéristique très intéressante, car il indique la sensibilité plus ou moins grande d'un sol aux variations de teneur en eau. Il est à la base de la plupart des classifications des sols. Il en existe de très nombreuses basées sur la valeur d'une ou plusieurs des caractéristiques citées plus haut : granulométrie, limites d'Atter-

berg, indice de plasticité, maximum de densité sèche, résultats d'essais mécaniques en particulier essai CBR.

Les classifications détaillées les plus connues sont celles des Officiers du Génie Américain et de l'Aéronautique Civile Américaine, ainsi que celle du « Highway Research Board ».

Toutes ces classifications permettent de déterminer rapidement à l'aide de quelques essais dans quelle catégorie classer un sol et d'en déduire ses propriétés mécaniques naturelles et son aptitude à être amélioré par les techniques de la stabilisation. Ce traitement physique et quelquefois chimique consiste à diminuer dans le sol la proportion des vides et à amener la teneur en eau à un degré tel que la densité sèche du sol soit maxima. Le sol acquiert alors le maximum de résistance mécanique qu'il peut offrir.

La principale opération de ce traitement est le compactage, qui n'est possible que pour un sol répondant à certaines conditions : sa courbe granulométrique devra être comprise entre deux courbes limites appelées courbes de Talbot.

Ces conditions de granulométrie s'expliquent par la nécessité de pouvoir obtenir le minimum de vides dans le sol, il faut pour cela une certaine proportion d'éléments de toutes dimensions non seulement pour remplir au mieux les vides, mais pour améliorer la mobilité des éléments, ce qui facilite le travail mécanique de compactage.

Si le sol ne répond pas à ces conditions, son compactage sera difficile ou impossible. On pourra alors améliorer sa granulométrie par apport et mélange des matériaux d'un autre sol dans des proportions à déterminer par comparaisons des analyses granulométriques.

A un sol à éléments trop fins (argileux), on devra ajouter des éléments plus gros, sables et graviers et inversement.

Après avoir amené le sol à la granulométrie voulue, il faudra pour lui donner une force portante suffisante, le compacter ; le degré de compactage et la teneur en eau correspondante seront déterminés au laboratoire grâce aux essais « Proctor » et sur le chantier à l'aide du pénétromètre « Proctor ». L'essai « Proctor » a comme but de déterminer, pour un certain degré de compactage, la teneur en eau correspondant à la densité sèche maximum.

On fait plusieurs essais avec des teneurs en eau différentes et on construit par point la courbe représentant les variations de la densité sèche de l'échantillon (portée en ordonnée) avec la teneur en eau (portée en abscisse).

Cette courbe présente un maximum « optimum Proctor » pour une certaine valeur de la teneur en eau.

En fait, lorsque l'énergie de compactage varie, la courbe « densité - teneur en eau » se déplace, son maximum décrivant une branche hyperbolique. On voit donc que la teneur en eau optimum varie avec l'énergie de compactage qui n'est pas forcément la même

sur le chantier que dans l'essai Proctor. Comme d'autre part, sur un chantier, le dosage de l'eau ne peut se faire que d'une manière approchée, on doit tenir compte que l'on ne sera pas exactement dans les conditions de l'optimum « Proctor », mais on s'efforcera d'être dans le voisinage.

Si la courbe représentant la fonction densité - teneur en eau est aplatie, on se rend compte que le dosage de l'eau peut n'être qu'approché. C'est le cas des sols sablonneux.

Si, au contraire, la courbe est aiguë, la teneur en eau doit être très voisine de l'optimum, ce qui est difficile à obtenir pratiquement. C'est le cas des sols argileux.

On remarquera qu'il n'y a pas intérêt à augmenter indéfiniment l'énergie de compactage, car d'une part l'énergie coûte cher et d'autre part la dépense sera en général inutile, car le sol aura tendance à se réhumifier jusqu'à sa teneur en eau d'équilibre, fonction de la teneur en eau de saturation et de la limite de plasticité. Cependant, il faudra que l'énergie de compactage soit suffisante pour dépasser largement l'optimum correspondant à cette teneur en eau d'équilibre.

Le travail de stabilisation mécanique comprend les opérations suivantes :

1° Labourage et pulvérisation du sol en place à l'aide d'une charue à disques et d'un rotary-tiller.

2° Apport des matériaux extérieurs le cas échéant, mélange intime de ces matériaux avec le sol et nivellement à l'aide d'une charue à disques, d'un rotary-tiller ou d'une niveleuse.

3° Dosage de la teneur en eau par arrosage; il faut donc opérer par temps sec, car il est plus facile d'ajouter de l'eau, mais très long et difficile de faire sécher le sol.

4° Compactage à l'aide de rouleaux à pneus ou à pieds de moutons.

5° Nivellement et surfaçage à la niveleuse.

6° Cylindrage au rouleau lisse ou à pneus.

Le compactage ne stabilise qu'une couche de sol d'épaisseur plus ou moins grande selon le poids et la nature des engins utilisés, son degré variant avec la profondeur.

Si on veut stabiliser le sol sur une plus grande profondeur, il faudra réaliser son compactage par couches successives, c'est le cas des remblais.

Lorsque la nature du sol est telle que sa stabilisation exige un apport considérable de matériaux, on a souvent intérêt à réaliser les opérations de mélange dans une bétonnière, ce qui produit un brassage plus intime des matériaux, tout en dépensant moins d'énergie; la couche de sol en place est décapée auparavant et on en tire les matériaux utilisables pour les mélanger avec les matériaux d'apport.

Dans certains cas, il est plus intéressant d'employer comme liant

dans le sol à stabiliser, des liants hydrocarbonés ou hydrauliques plutôt que de l'argile lorsque celle-ci est de mauvaise qualité dans la région ou bien encore si de fortes variations de la teneur en eau sont à craindre. On obtient ainsi des sols remarquablement stables et presque insensibles aux variations d'humidité. Ces techniques de stabilisation sont appelées « Stabilisation chimique ».

#### FONDACTIONS ET CHAUSSÉES EN SOLS STABILISÉS

Les techniques de stabilisation physique ou chimique des sols sont utilisées pour les fondations d'ouvrages d'art, de chaussées routières ou de pistes d'aérodromes.

La stabilisation du sol permet, dans bien des cas, de supprimer le hérisson comme couche de fondation, celui-ci est très coûteux car sa pose doit être faite à la main et les moellons qui le constituent doivent avoir des qualités que l'on ne trouve pas toujours dans des carrières proches de la route à construire.

Or, un hérisson en mauvaises pierres gélives ou facilement délitables se transforme plus ou moins rapidement en une marne dure quand elle est sèche mais molle et plus ou moins fluide quand elle est détrempée.

De plus, quand le hérisson est formé de pierres de bonne qualité, mais établi sur un mauvais sol, par exemple argileux, il risque de s'y enfoncer si la route supporte un trafic de véhicules lourds tandis que le sous-sol se trouve détrempé. L'argile remonte entre les pierres du hérisson et le colmate, il ne défend plus alors la chaussée contre les remontées capillaires et ne la draine plus.

On a tendance à remplacer le hérisson coûteux et souvent inefficace par une stabilisation du sol de la plate-forme quand celui-ci est facile à compacter, en ajoutant pour l'améliorer, si c'est nécessaire, des matériaux extraits d'une carrière voisine.

Si le sol naturel, ou amélioré, stabilisé ne présente pas une force portante suffisante pour supporter la chaussée, on peut interposer une couche intermédiaire de matériaux bon marché, en général du tout venant d'une carrière proche, d'une épaisseur que l'on peut déterminer (*voir nota*) avec incorporation dans certains cas, d'argile, de ciment ou d'un liant hydrocarboné pour augmenter la cohésion.

Ces couches de fondation sont meilleur marché que le hérisson, de plus on peut faire varier leur composition et leur épaisseur selon les qualités du sol naturel. Cependant, elles ne jouent pas le rôle de filtres comme doit théoriquement le faire le hérisson. Aussi, le drainage et le nivellement doivent être particulièrement soignés. On devra en général revêtir la route d'un enduit imperméable et, si des remontées sont à craindre, interposer une couche filtrante de cailloux et de machefer ou bien remplacer l'argile par un liant hydrocarboné.

Les couches de fondations devront être recouvertes d'une couche de roulement dont la nature et l'épaisseur sont fonction de l'importance du trafic ainsi que des ressources locales en matériaux. Cette couche de roulement pourra être constituée : par un pavage, une dalle de béton, un empierrement réalisé selon une des techniques décrites au chapitre II ; sous nos climats, les chaussées dont les fondations sont en sol stabilisé, devront être revêtues d'un enduit superficiel à base de liants hydrocarbonés pour éviter autant que possible les infiltrations d'eau.

Dans le cas où la chaussée ne supporte qu'un faible trafic dont les véhicules à bandages métalliques sont exclus, la couche de roulement peut se réduire à un enduit de goudron et gravillons et même, sous les climats favorables, on peut se passer de cet enduit pourvu que le trafic soit suspendu pendant les périodes de pluies.

Sous certains climats, l'emploi de chlorure de calcium répandu sur la chaussée, régularise la teneur en eau du sol ; en effet, grâce à ses propriétés hygroscopiques, le chlorure de calcium absorbe l'humidité atmosphérique, principalement quand elle est élevée, par exemple la nuit, et la restitue au sol par capillarité ; cela permet d'éviter le dessèchement du mortier et donc de réduire son indice de plasticité. De ce fait, le sol peut supporter sans inconvénient, une humidification passagère due à la pluie.

Il faut remarquer que, dans les régions à longue saison chaude et sèche, le dessèchement du sol compacté est tout aussi dangereux pour la chaussée que l'excès d'humidité sous les climats humides ; l'action du chlorure de calcium ou d'un revêtement imperméable est, dans ce cas, d'empêcher une trop grande évaporation.

Étudions maintenant quelques techniques en les groupant d'après la nature du liant utilisé :

- a) argile,
- b) liants hydrocarbonés,
- c) liants hydrauliques,
- d) d'autres liants.

a) *Argile.*

*Le béton d'argile.* — C'est un mélange bien dosé d'argile de sable et graviers de granulométrie continue suivant la loi de TALBOT.

Le mortier (éléments fins) doit avoir une limite de liquidité supérieure ou égale à 25 et un indice de plasticité compris entre les limites variables selon le climat.

Le mélange des matériaux peut se faire dans une bétonnière ou bien sur la plate-forme de la route. Les opérations sont celles décrites pour la stabilisation physique des sols. Cette technique a été très employée dans la région parisienne sous le nom de « béton d'Écuelles ».

Divers procédés utilisés pour les routes à faible trafic dérivent du béton d'argile. Ils s'efforcent d'utiliser au maximum les maté-



rioux existant dans le sol même. On appelle alors les chaussées établies par ces procédés :

*Chaussées en sol naturel* lorsque l'on s'est contenté de compacter le sol de la plate-forme.

*Chaussées en sol amélioré* lorsqu'il y a apport de matériaux.

Dans ce type, rentrent : les pistes en terre améliorée obtenues sur des sols argileux, préalablement drainés et nivelés, en répandant du sable ou un mélange de sable et de gravillon soit avant la période d'utilisation, si celle-ci est temporaire, soit au printemps et à l'automne si celle-ci est continue. Sur ces pistes, c'est la circulation des véhicules, à pneus seuls tolérés qui assure le compactage.

On peut aussi assimiler aux chaussées en sol amélioré, celles obtenues à partir de vieilles chaussées empierrées dont les matériaux, après piochage, sont mélangés avec des matériaux d'apport en proportion déterminée par analyse pour améliorer leur granulométrie. Le mélange est suivi de nivellement et compactage.

Signalons enfin, le Sand-Clay, mélange dosé et compacté de sable et d'argile sans éléments de grosseur supérieure au sable qui dans les pays à longue saison sèche résisterait mieux sans revêtement que le béton d'argile à la déformation connue sous le nom de « tôle ondulée ».

#### b) *Liants hydrocarbonés.*

Lorsque le sol manque d'argile, on peut, au lieu de faire un apport d'argile, utiliser un liant hydrocarboné. Ce sera plus coûteux, mais on obtiendra une chaussée plus stable, en particulier moins sensible aux variations de teneur en eau.

Il faut noter qu'on ne peut utiliser un liant hydrocarboné que lorsque le sol contient moins de 30 à 40 % d'argile, tout en ayant un faible indice des vides. En fait, ces deux conditions peuvent se traduire par des courbes granulométriques limites.

Pour déterminer si la stabilisation d'un sol à l'aide de liants hydrocarbonés est possible, on procède à des essais (méthode Hubbard Field).

1) Dans les terrains sablonneux ou sablo-gravillonneux (en particulier dans les régions désertiques) on a réalisé des chaussées à l'aide des procédés suivants :

Le Dry sand mix — enrobage du sable sec avec un cut-back de grande viscosité. Un « Travel-Plant » réalise une piste en un seul passage : une chaîne à godets ramasse le sable à l'avant et l'épandage du sable enrobé se fait à l'arrière. Il n'y a plus qu'à cylindrer avec un rouleau à pneus.

Le Wet-sand-mix, variante du procédé précédent lorsque le sol est humide. On ajoute au sable un peu de chaux et on utilise comme liant un Road-oil spécial.

Les sand-asphalt et les micro-bétons sont utilisés également dans les sols sableux, ce sont des mélanges dont les plus gros éléments

sont des sables et les plus fins des fillers avec un peu de chaux : le liant étant de l'asphalte.

2) Pour les vieilles chaussées empierrées, on peut, au lieu de les transformer en béton d'argile, comme on l'a vu plus haut, obtenir un béton hydrocarboné. Le procédé (Retread process) consiste, après piochage et pulvérisation des éléments de l'ancien empierrement, à améliorer la granulométrie par apport des matériaux manquant ; puis on répand une émulsion spéciale (à raison de 2,7 kg au m<sup>2</sup> environ), on malaxe le tout au moyen d'un cultivateur ; on répand encore la même quantité d'émulsion avant de cylindrer avec un rouleau de 10 t environ ; avant cylindrage final, on sable ou on gravillonne selon la surface qu'on désire obtenir.

### c) *Liants hydrauliques.*

Les sols stabilisés avec addition de liant hydraulique sont en général appelés « *sols ciments* ».

Pour qu'un sol puisse être amélioré par le ciment, il faut que sa teneur en argile n'excède pas 20 à 30 %, que l'indice de plasticité de ses éléments fins soient inférieur à 25, enfin qu'il ne contienne pas de matières organiques (moins de 3 %). Plus le sol sera pauvre en argile, en particulier en argile fine (ultra argile), plus sera efficace l'action du ciment.

La proportion de ciment nécessaire est fonction de la teneur en argile du sol : de 6 % du poids du sol sec pour les sables graveleux, très peu argileux jusqu'à 14 % pour les sols les plus argileux susceptibles d'être traités au ciment.

Cette proportion peut être déterminée par des essais au laboratoire. On confectionne des éprouvettes en compactant dans un moule Proctor, des mélanges de sol et de quantités dosées de ciment ; puis on soumet ces éprouvettes à des essais combinés d'écrasement, de mouillage, séchage, de gel, dégel, etc...

Pour construire une chaussée en sol ciment, on commence par labourer et pulvériser le sol naturel en le débarrassant de tous les débris organiques. On nivelle, puis on répand le ciment à la dose déterminée au laboratoire. On mélange intimement le sol et le ciment au pulvimixer jusqu'à ce que la couleur soit bien homogène, puis le sol est arrosé jusqu'à la teneur optimum et compacté.

Il faut protéger ensuite la chaussée pendant la prise en la recouvrant d'une couche de paille ou de terre et ne la livrer à la circulation qu'au bout d'une semaine.

### d) *Autres liants.*

On a commencé à utiliser pour la stabilisation des sols des résines synthétiques ; le produit le plus connu est le Vinsol. Ces produits présentent les avantages suivants :

- la proportion de produit à ajouter au sol est beaucoup plus faible que celle du liant hydraulique ou hydrocarboné,
- le travail est moins lié aux circonstances atmosphériques,
- les sols pouvant être traités sont plus nombreux,
- un sol stabilisé ainsi pourrait être repris par scarification suivie d'un nouveau compactage.

Actuellement, ces liants sont d'un prix très élevé et leur emploi est peu répandu.

### CONCLUSIONS

Les techniques d'établissement des chaussées en sol stabilisé sont nombreuses et leur choix dans chaque cas particulier pose un problème qu'on ne peut résoudre que par une étude poussée du sol naturel, un inventaire détaillé des ressources locales en matériaux et une connaissance aussi certaine que possible du trafic qu'aura à supporter la chaussée en même temps que des conditions locales de climat, d'exposition, etc...

Ce n'est qu'au prix de ces analyses et recherches qu'on pourra établir le plus économiquement possible la chaussée la mieux adaptée au trafic envisagé.

Ce bref aperçu sur les techniques nouvelles permettant de construire des chaussées capables de supporter le passage de véhicules munis de roues à bandages pneumatiques nous montre le grand intérêt qu'elles présentent pour nos routes forestières.

Des essais intéressants ont déjà été réalisés dans diverses régions et dans des conditions très variées depuis les sables des dunes de Gascogne ou de la forêt de Compiègne jusqu'aux argiles de la vallée de la Saône et aux schistes de la Savoie.

Ces exemples se multiplient et on peut espérer pouvoir étendre aux moindres frais notre réseau routier forestier si nécessaire à la mise en valeur de nos bois.

Jean BOUTIN.

*(Extrait de la Conférence faite le 30 avril 1954 à la Semaine de Documentation organisée à l'École Nationale des Eaux et Forêts pour les Conservateurs et Ingénieurs des Eaux et Forêts.)*

NOTA. — *Calcul de l'épaisseur des chaussées et couches de fondations.*

1° Méthode CBR (Indice portant Californien).

Cette méthode mise au point à la suite de nombreux essais par les Ingénieurs américains de Californie consiste à faire un essai de pénétration à vitesse constante d'un piston de 3 pouces carrés de surface dans un échantillon du sol à étudier, préalablement compacté puis réhumidifié pendant 4 jours (méthode originelle) ou jusqu'à saturation (méthode modifiée pour climats humides).

On compare les résultats de cet essai avec ceux connus d'un essai analogue effectué sur un macadam type. Le rapport des résultats donne l'indice CBR.

Connaissant l'indice CBR, des abaques établies empiriquement permettent de calculer la force portante correspondant à telle épaisseur du sol essayé.

La méthode CBR est très critiquée à cause de son imprécision. Quand on

se livre à plusieurs essais successifs, on obtient des résultats très dispersés. De plus, cet essai de poinçonnement à vitesse constante est très difficile à réaliser et ne correspond pas aux efforts réels qu'aura à supporter une chaussée, de sorte qu'on obtient parfois des résultats aberrants surtout pour les revêtements superficiels plus que pour les couches de fondations profondes.

Actuellement, on préfère en général à la méthode CBR l'une des méthodes suivantes :

2° La méthode du Wyoming.

La méthode du Wyoming est intéressante par le fait qu'elle tient compte des conditions locales en particulier climatiques. On additionne un certain nombre de facteurs tenant compte de la hauteur des précipitations annuelles, de la distance de la nappe phréatique à la surface de la chaussée, de l'action du gel et du dégel, enfin du trafic et selon le total obtenu, on calcule les épaisseurs sur différentes courbes d'une abaque CBR d'après les indices CBR des différents sols et matériaux utilisés.

3° Une autre méthode est basée sur l'indicateur de groupe utilisé pour la classification du Highway Research Board. Les épaisseurs sont calculées grâce à une abaque comportant des courbes différentes selon le trafic; certaines courbes permettant de déterminer l'épaisseur à donner aux couches de fondations, d'autres l'épaisseur totale fondation + revêtement. Ces courbes sont appelées courbes de Steele (Ingénieur de la Public Road Administration à San Francisco).

4° Enfin des adaptations des différentes méthodes à des problèmes particuliers. Il faut remarquer en effet qu'aucune méthode appliquée sans discernement ne peut donner de bons résultats et que dans la plupart des cas, il y aura des modifications à apporter soit aux essais, soit aux procédés de calculs, soit aux résultats.

---