

Les routes en béton

Autor(en): **Vitoz, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **79 (1953)**

Heft 9-10: **École polytechnique de l'Université de Lausanne: publication du centenaire 1853-1953, fasc. no 1**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59763>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

De nombreux accidents se produisent en particulier sur les sections les plus favorables. La séparation du sens de circulation devient, dans ce cas, nécessaire si l'on veut augmenter la sécurité de cette importante voie de communication.

Ce sont les raisons pour lesquelles les organes responsables ont été amenés à se demander s'il n'était pas préférable d'envisager la construction d'une auto-

route entre Genève et Lausanne, qui mettrait à la disposition des automobilistes une deuxième artère de liaison directe entre les deux capitales romandes.

En résumé, le programme d'amélioration du réseau routier vaudois, au cours de ces prochaines années, représentera un effort financier considérable ; il est indispensable, pour des raisons d'ordre économique et touristique, que notre pays se doit de ne pas sous-estimer.

LES ROUTES EN BÉTON

par A. VITTOZ, ingénieur de Routes en Béton S. A.

Notre propos est d'exposer brièvement, à la lumière de l'expérience suisse et sans entrer dans des développements savants, comment on peut fixer l'épaisseur d'une route en béton, quelle est le rôle de l'armature et des joints et de rappeler quelques-unes des exigences que requiert sa construction.

Le calcul d'une dalle en béton pour revêtement de route n'est pas simple si l'on veut tenir compte de tous les facteurs qui peuvent y intervenir. Plusieurs mathématiciens ont étudié ce problème et ont mis à la disposition des constructeurs des méthodes de calcul accessibles même à ceux que le maniement des équations différentielles rebuterait. Ces dalles reposent sur le sol et travaillent en intime collaboration avec lui, il va donc de soi que tout calcul de ce genre fait intervenir une ou plusieurs caractéristiques du sol. Or, si l'on connaît à peu près le comportement du béton, celui du sol est plus capricieux et moins facile à représenter par une relation mathématique qui soit une image aussi fidèle que possible de la réalité, et permette en même temps la résolution des équations. Cette représentation du sol peut se faire au moyen des deux hypothèses suivantes :

1. *Hypothèse du comportement liquide du sol*, dans laquelle ce dernier est représenté comme un liquide de densité appropriée ou comme une succession de ressorts verticaux indépendants les uns des autres. Dans ce cas, la pression sur le sol est proportionnelle aux déformations $p = K \cdot y$.

p = pression transmise de la dalle au sol.

y = déformation verticale.

K = module de réaction du sol (Bettungsziffer).

Cette hypothèse, utilisée par Schleicher et Westergaard, est simple et conduit à des calculs relativement aisés pour certains cas de charge. Malheureusement, elle ne représente qu'assez mal la réalité. On se rend bien compte, en effet, que le sol peut se déformer dans une zone plus étendue que celle où agit la pression ; ou pour reprendre l'image citée, que les ressorts représentatifs ne sont pas complètement indépendants les uns des autres.

2. *Hypothèse du comportement élastique du sol* pour laquelle Boussinesq a donné les formules permettant de calculer les réactions du sol. Sur cette base-là, et par des développements assez ardues, Hogg et Burmister ont réussi à faire les calculs dans le cas précis d'une dalle de route chargée loin des bords.

Que l'on prenne l'une ou l'autre de ces hypothèses, le calcul consiste à exprimer que les déformations de la dalle et du sol sont égales et que la somme des

réactions du sol est égale à la charge. Or, si l'on fait le calcul par les deux méthodes pour les conditions correspondant à une dalle de route, on constate que les résultats ne diffèrent que de 10 % environ, la première donnant des moments légèrement plus grands que la seconde¹. Au point de vue pratique, il paraît donc suffisant d'utiliser cette première méthode dont les résultats ont pu être transcrits en une formule directement applicable aux routes, la formule de Westergaard.

La formule complète, mise au point pour le calcul des dalles d'aérodromes, comporte trois termes ; mais on peut facilement vérifier que pour les conditions d'une route, les deux derniers sont négligeables. Le calcul a été fait pour trois cas de charge.

Cas I. — Charge agissant assez loin des bords et des joints, soit à plus de 1,70 m environ. Westergaard a réussi à présenter sa formule d'une façon très simple donnant directement le moment maximum.

$$M = 46 (1 + \mu) P \log^{10} \frac{Eh^3}{Ka^4}$$

M = moment dans la dalle (cm/kg).

P = charge en tonnes.

μ = coefficient de Poisson du béton.

E = module d'élasticité du béton (kg/cm²).

h = épaisseur de la dalle (cm).

a = rayon du cercle de contact entre charge et dalle (cm).

K = module de réaction du sol (kg/cm³). Mesuré au moyen d'une plaque de 76 cm de diamètre chargée par 3200 kg. A titre d'exemple, et pour fixer son ordre de grandeur, $K = 10$ pour une fondation dure telle qu'on l'avait réalisée à l'aérodrome de Kloten où les camions chargés ne laissaient aucune trace ; et $K = 1$ pour une fondation médiocre.

En prenant $E = 400\,000$ kg/cm² et $\mu = 0,15$, la formule peut se mettre sous la forme

$$\frac{M}{P} = 159 \log h + 53 (5,6 - \log K - 4 \log a)$$

Sa représentation graphique en fonction de $\log h$ est un groupe de droites parallèles de pente égale à 159. La figure 1 donne le moyen de les construire pour les différentes valeurs de a et de K . Une droite tracée

¹ On trouvera en détail la comparaison des résultats des deux méthodes à la page 51 de « Proceedings N° 13 » de Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1949.

entre les points représentant les valeurs de K et de a sur leurs axes coupe l'axe du milieu au même point que la droite ayant une pente de 159 et qui donne les moments en fonction de l'épaisseur, pour les valeurs de a et K choisies.

Cette formule et sa représentation graphique permettent de calculer rapidement le moment pour toutes valeurs des données, mais elles n'offrent pas une image bien expressive de l'influence des différents facteurs. Ce ne sont, en effet, pas les moments qui déterminent les dimensions d'une dalle, mais bien les tensions régnant dans le béton. Il est facile, à partir de la formule du moment, d'obtenir celle de la tension, qui n'est plus linéaire en fonction de h ou de $\log h$

$$\frac{\sigma}{P} = \frac{275(1 + \mu)}{h^2} \log^{10} \frac{Eh^3}{Ka^4}$$

Elle est représentée graphiquement à la figure 2.

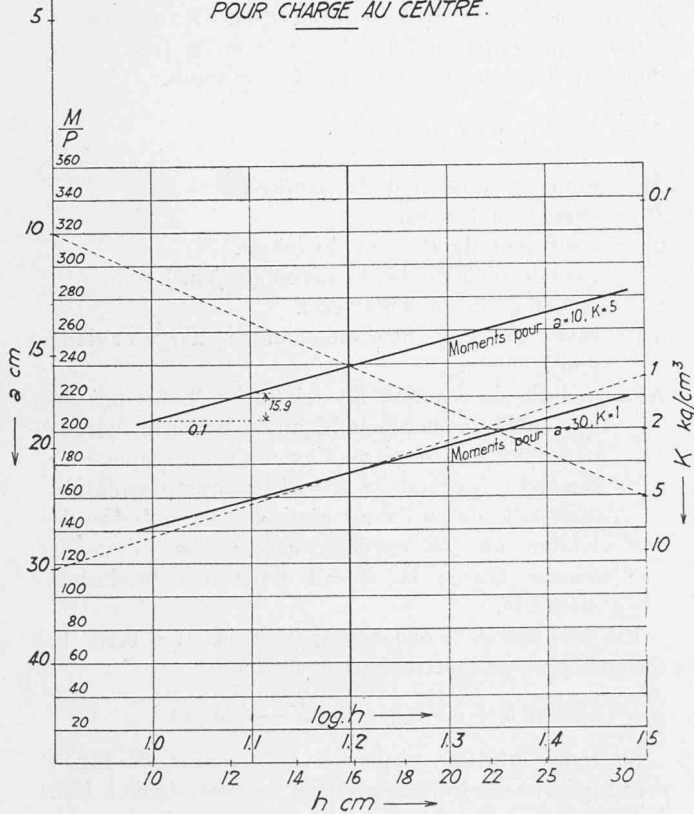
La structure de la formule et sa représentation graphique permettent de faire différentes constatations intéressantes :

a) L'influence de la qualité de la fondation est relativement faible. Ainsi, quand K passe de 10 à 1, c'est-à-dire si au lieu d'une fondation dure on en a une médiocre, il suffit de donner à la dalle une surépaisseur de 1 à 3 cm pour que la tension dans le béton reste la même pour une même charge. C'est la raison pour laquelle on a pu construire des routes en béton

sur des terrains très mauvais, tels que des tourbes (fig. 3), sans qu'il soit besoin de constituer des fondations importantes. Quand on parle ici de qualité de la fondation, il s'agit uniquement de sa plus ou moins grande élasticité. Il est évident que la route en béton, comme toutes les autres, exige une fondation bien compactée qui ne soit pas sujette par la suite à des tassements irréguliers.

b) La grandeur de la surface de contact entre charge

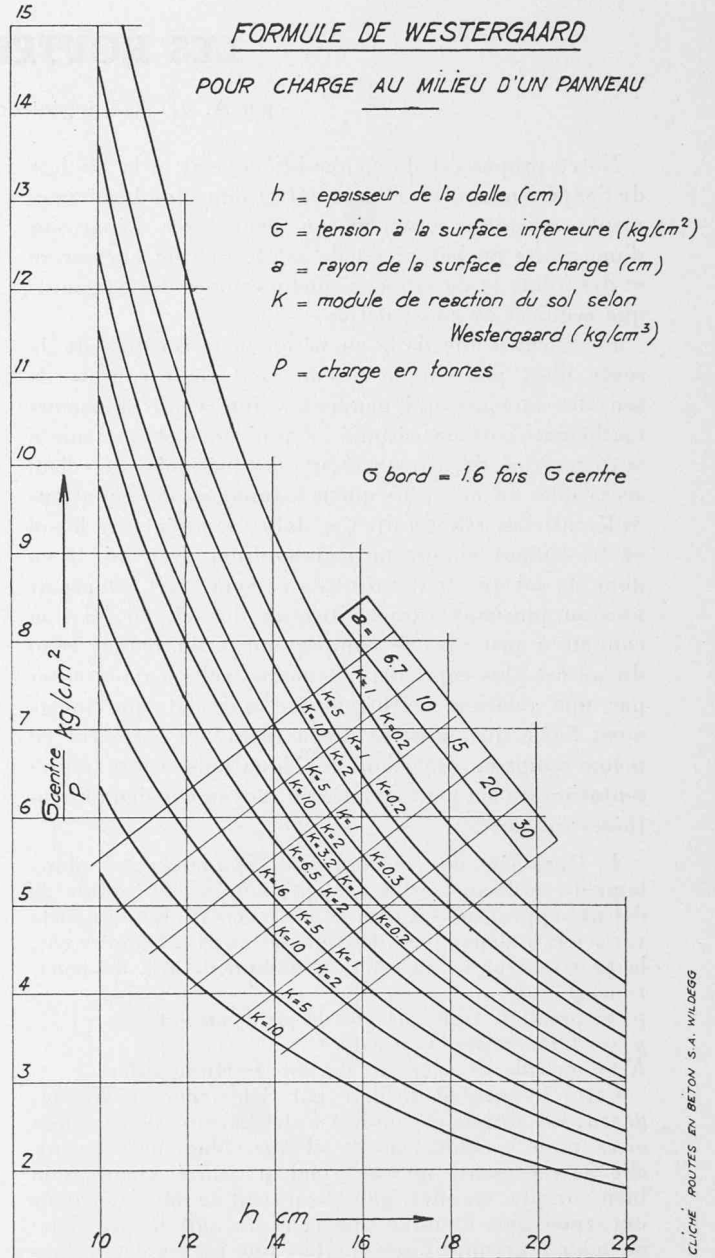
MOMENTS DANS UNE DALLE D'APRÈS WESTERGAARD
POUR CHARGE AU CENTRE.



CLICHÉ ROUTES EN BÉTON, S.A. WILDEGG

Fig. 1. — Abaque donnant pour une charge de 1 tonne agissant au centre d'un panneau, le moment maximum dans la dalle en fonction de l'épaisseur, pour différentes valeurs de a et de K .

FORMULE DE WESTERGAARD
POUR CHARGE AU MILIEU D'UN PANNEAU



CLICHÉ ROUTES EN BÉTON, S.A. WILDEGG

Fig. 2. — Courbes donnant pour une charge de 1 tonne agissant au centre d'un panneau, la tension maximum σ à la couche inférieure, en fonction de l'épaisseur de la dalle, pour différentes valeurs de a et de K . Remarquons qu'une courbe valable pour une paire de valeurs a_1 et K_1 l'est aussi pour $a_1 \times 1,5$ et $K_1 \times 5$, car $\log 5 = 4 \log 1,5$ à une approximation suffisante.

Exemple de lecture de l'abaque : Données, $a = 15$, $K = 2$, $h = 18$. Il faut prendre la courbe dont l'indice $K = 2$ se trouve inscrit dans la colonne $a = 15$. Pour l'abscisse $h = 18$, on lit une ordonnée $\sigma = 4,3 \text{ kg/cm}^2$.

Pour le calcul de ces courbes, on a admis $E = 400\,000 \text{ kg/cm}^2$, $\mu = 0,15$.

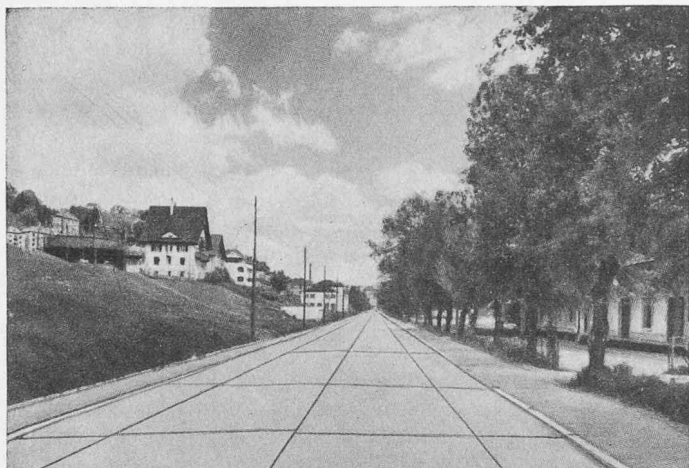


Fig. 3. — Col-des-Roches (NE). Revêtement en béton construit en 1946 sur terrain tourbeux. Au premier plan, où la tourbe est recouverte d'une ancienne recharge de 50 cm à 1 m, la dalle a 18 cm d'épaisseur. Au fond, devant les premières maisons de gauche, on a construit une dalle de 22 cm d'épaisseur sur une couche de gravier tout venant de 20 cm reposant directement sur la tourbe pure.

et dalle joue également un rôle important. Si pour une même charge, le rayon de cette surface (on admet que c'est un cercle) augmente de 5 cm, la tension dans le béton reste la même si l'épaisseur de la dalle diminue de 8 % à 10 % ; ou bien, l'épaisseur restant la même, c'est la tension qui diminue de 10 % à 20 %. C'est la raison pour laquelle on peut, sans augmenter beaucoup l'épaisseur, faire face à des accroissements de charges, car elles sont pratiquement toujours accompagnées d'une augmentation de la surface de contact, déterminée par la pression de gonflement des pneumatiques qui ne peut croître beaucoup. C'est pour la même raison que, sur les chemins de dévestitures agricoles où les charges sont moins grandes, mais souvent beaucoup plus concentrées par des roues à bandages métalliques, on ne peut pas diminuer l'épaisseur du revêtement en béton autant que semblerait le permettre la diminution des charges. (Cette allusion aux chemins agricoles n'est pas une plaisanterie, car depuis quelques années, on tend à munir de revêtements en béton les plus importantes dévestitures des régions à cultures intensives et celles qui sont soumises à un fort ravinement.) (Fig. 4.)

Cas 2. — Charge agissant au bord d'un panneau. La formule proposée par Westergaard pour ce cas est du même type que la première et donne des tensions à la surface inférieure, au maximum 1,6 fois plus grandes que dans le cas de charge au milieu.

$$\frac{M}{P} \text{ bord} = 1,8 \times \frac{M}{P} \text{ centre} - 67,5.$$

Cas 3. — Charge agissant dans le coin d'un panneau. Elle provoque à la surface supérieure, cette fois, des tensions, au maximum 1,3 fois plus grandes que celles que la charge au milieu provoque à la surface inférieure.

Ainsi, le cas le plus défavorable est celui de la charge agissant au bord d'un panneau, et le béton subit ses plus grands efforts de traction à sa surface inférieure.

Effets de la température

Les variations de la température extérieure peuvent agir de deux façons différentes :

a) Les variations lentes (saisonniers) auxquelles toute la masse du béton a le temps de s'adapter d'une façon uniforme, provoquent des allongements ou des raccourcissements de la dalle. Le retrait est équivalent à une baisse lente de la température. Ce sont ces effets du retrait et des baisses lentes de température qu'il faut prévenir par des joints dits « de retrait ». Bien qu'on ait quelque hésitation à les supprimer ou à les espacer beaucoup plus, les joints de dilatation paraissent moins nécessaires, du moins quand le bétonnage a lieu en été. En effet, le béton peut supporter des compressions assez fortes, si elles ne dépassent pas la limite de flambage et si les joints de retrait sont bien construits ; d'autre part, si l'on bétonne en été, les dalles ne peuvent guère s'allonger au-delà de leur longueur primitive, car la hausse de température possible est faible, et compensée par le retrait.

b) Les variations rapides (journalières) de la température extérieure provoquent aux surfaces inférieure et supérieure du béton des températures différentes dont il résulte des flexions de la dalle. On peut calculer que dans les conditions de notre pays, les variations diurnes de température provoquent dans une dalle de 15 à 20 cm d'épaisseur, des contraintes de traction d'environ 30 kg/cm² à la surface supérieure et 10 kg/cm² à la surface inférieure, ceci au milieu d'un panneau. Près des joints et perpendiculairement à eux, ces tractions s'annulent, si bien que pour la charge en coin, les efforts ne subissent pas de majoration pour effet de la température. En revanche, aux effets statiques de la charge au milieu ou au bord, il faut ajouter environ 10 kg/cm² pour les effets de la température.

Charges à admettre et résistance du béton

Quelle est la charge qu'il faut admettre pour nos routes ? L'ordonnance fédérale prescrit pour les ponts



Fig. 4. — Dévestiture rurale à Rougemont. Dalle en béton de 14 cm d'épaisseur. Pente maximum, 7 %. Construction 1951.



Fig. 5. — Avenue de la Gare, à Vevey. Revêtement en béton de 16 cm d'épaisseur, construit en 1931.

un camion avec charge par roue de 5 t. Majoration pour efforts dynamiques, 30 % si l'on assimile une dalle à un pont de même longueur (env. 10 m). Admettons une majoration supplémentaire de 20 % pour tenir compte du fait que la charge agit de nombreuses fois. Nous aurions alors une charge totale de 7,5 t. Le rayon de la surface de contact serait de 20 cm pour une pression de gonflement des pneus de 6 kg, et de 15 cm pour une pression de 10 kg.

La résistance à la flexion d'un béton routier est de 70 kg/cm². En admettant un coefficient de sécurité de 20 %, il reste 58,3 kg/cm². Les effets de la température pouvant atteindre 10 kg/cm², c'est la tension de 48,3 kg/cm² qu'il ne faut pas dépasser sous une charge de 7,5 t, ou 6,45 kg/cm² pour une charge de 1 t agissant au bord d'un panneau et 4 kg/cm² si elle agit au milieu. En examinant l'abaque de la figure 2, on constate que l'épaisseur nécessaire pour que cette condition soit remplie varie de 15,5 cm pour un très bon sol ($K = 10$) et une pression de gonflement de 6 kg ($a = 20$), à 19,5 cm pour un sol médiocre ($K = 1$) et une pression de gonflement de 10 kg ($a = 15$). On voit que ce sont bien les épaisseurs admises normalement chez nous.

Armature

Les calculs esquissés plus haut supposent un béton intact, non fissuré. On n'y fait donc intervenir aucune armature. Est-ce à dire qu'elle soit superflue ? Certains auteurs le prétendent et de nombreux constructeurs sont heureux de les suivre car la pose d'une armature est une complication indéniable dans la mise en œuvre d'un revêtement en béton. Quelle position prendre à cet égard à la lumière des expériences faites ?

Même s'il est dimensionné correctement, il arrive qu'un revêtement en béton se fissure ici ou là sous l'effet de mouvements imprévus du sol. On a alors quelques joints de plus et ce n'est pas grave en soi. Mais si le revêtement n'est pourvu d'aucune armature, les fissures s'élargissent progressivement, leurs lèvres s'épaussent et prennent des mouvements verticaux relatifs au passage des charges. Bref, on a assez rapidement des dégâts importants, gênants pour la circulation. Si, en revanche, on dispose, non loin de l'axe

neutre de la dalle, de préférence dans la zone comprimée (surface supérieure), une armature qui peut être relativement faible puisque sa position est telle que même après fissuration elle ne subit pas de grosse traction, les fissures éventuelles ne peuvent s'ouvrir et s'aggraver et n'offrent alors aucun inconvénient pratique.

Le goujonage des joints paraît aussi être une nécessité. L'absence de goujons leur laisse une trop grande liberté de déformations verticales élastiques ou permanentes et par conséquent donne une chaussée peu unie et peu roulante. Si les fissures s'ouvrent et si les joints ont des mouvements verticaux trop grands qui en arrachent le garnissage, l'eau peut pénétrer sous le revêtement, et la fondation s'en trouve affaiblie précisément aux endroits où elle est le plus sollicitée. C'est donc aussi une raison pour disposer une armature et goujonner les joints.

Exécution

Les routes en béton sont destinées à durer longtemps avec un minimum d'entretien. Ceci est parfaitement réalisable comme le prouvent de nombreuses routes en service à l'étranger depuis trente, quarante ou cinquante ans, ou plus modestement depuis vingt à vingt-cinq ans pour 400 000 m² environ parmi les trois millions de mètres carrés de revêtements en béton construits en Suisse jusqu'à ce jour (fig. 5). Mais ce n'est qu'à certaines conditions qu'on peut atteindre ces résultats.

Le béton routier est soumis aux efforts de flexion examinés plus haut, mais il subit encore, sans aucune protection, les effets des intempéries (humidité, gel, etc.), ainsi que l'usure et les chocs que lui inflige la circulation rapide des véhicules. Seul un béton de très haute qualité peut faire face à ces sollicitations diverses, et encore doit-il satisfaire à certaines exigences particulières à la route et parfois contradictoires (résistance à l'usure, rugosité de la surface, etc.).

Il faut donc avoir recours à tous les moyens connus permettant la confection d'un bon béton : composition granulométrique de l'agrégat, quantité réduite d'eau de gâchage, malaxage soigné, méthode de mise en place conservant l'homogénéité du béton et lui donnant une compacité maximum, etc. Enfin, le jeune béton doit être protégé contre une dessiccation rapide, et c'est très important pour les bétons tels que nous les utilisons en Suisse. On sait, en effet, par expérience qu'une négligence à cet égard pendant la prise ou les premières heures du durcissement peut provoquer de nombreuses fissures de retrait superficielles ; il est vrai qu'elles n'ont que quelques millimètres de profondeur et qu'elles n'offrent pas d'inconvénients si le revêtement est ensuite maintenu bien humide pendant quelque temps. On sait aussi qu'un revêtement en béton s'use beaucoup plus rapidement s'il n'a pas été tenu soigneusement à l'humidité pendant les dix à quinze premiers jours de son durcissement.

Mais le meilleur béton peut encore donner lieu à des mécomptes si certains détails constructifs, tels que les joints, par exemple, sont mal conçus ou mal exécutés. Et c'est encore l'expérience, et non le seul raisonnement ou le calcul, qui a permis de mettre au point ces questions là.

Si donc, la construction des routes en béton n'offre pas de difficultés essentielles, en revanche, elle exige un grand soin et une surveillance constante des nombreux détails dont l'expérience a montré l'importance, et les fâcheuses conséquences que peuvent avoir des

négligences dans leur exécution. C'est à cette condition que le revêtement en béton aura la grande durée qu'on est en droit d'attendre de lui, durée qui compensera largement les frais de ces soins particuliers et de la surveillance qu'ils impliquent.

L'ÉVOLUTION DES TRANSPORTS EN COMMUN

par R. BOURGEOIS, ingénieur, administrateur-délégué de la Société des Tramways lausannois

Les Transports en commun dans la terminologie technique désignent plus particulièrement l'ensemble des moyens de transport utilisés dans les régions urbaines et suburbaines.

On les distingue ainsi des chemins de fer d'intérêt local ou des chemins de fer des grands réseaux d'intérêt général.

Tant au point de vue technique qu'économique, ces trois groupes diffèrent sensiblement puisqu'ils ont à satisfaire à des conditions d'exploitation fort différentes. Ses principales conditions sont : les distances, les capacités de transport, les vitesses commerciales, la nature du trafic voyageurs et marchandises, l'utilisation des voies publiques ou de tracés indépendants, enfin, les dispositions légales.

Pour les uns et les autres on peut distinguer, bien que solidaires, une évolution technique et une évolution économique.


L'évolution technique des transports en commun

On peut attribuer aux chemins de fer la succession des moyens de transport fort anciens tels que les diligences, les coches de campagne ou coches d'eau qui sillonnaient routes et voies d'eau.

Les Transports en commun ont leur origine plus récente dans les fiacres et les omnibus dits à pavé qui commencent à circuler au début du XIX^e siècle dans les grandes villes européennes ; véhicules bien inconfortables que ces omnibus à pavé tractés par deux à quatre chevaux et d'une capacité de 15 à 25 voyageurs.

Ils n'en rendirent pas moins des services fort appréciés et certaines de leurs exploitations se perpétuèrent au-delà de 1900.

Un premier progrès d'importance venu d'Amérique se révèle dès 1850 : la pose des premiers rails dans les artères urbaines.

L'omnibus roule sur des rails constitués par un fer à  renversé, fixés par des ailes sur des longrines ou traverses en bois noyées dans la chaussée.

Le confort y gagne, ainsi que les conditions de la traction chevaline. L'omnibus perd son nom et s'appelle désormais le tramway.

Son utilisation se développe considérablement malgré le prix de revient élevé. Les voitures utilisées ont une capacité de 40 voyageurs, pèsent 2 tonnes et sont tractées par deux chevaux. La vitesse commerciale ne dépasse pas 8 km à l'heure.

Pour une voiture en service il faut un effectif de dix chevaux en écurie, compte tenu du parcours journalier admissible, des malades, des chevaux de renfort et des jours de repos. Les tarifs en usage étaient cinq à six fois plus élevés en valeur-or qu'actuellement.

Les tramways à traction chevaline, malgré ses inconvénients, eurent une longue existence. En parcourant les comptes rendus des congrès de l'Union internationale des Tramways, on trouve encore en 1894 et 1896 comme questions à l'étude : la nourriture des chevaux, l'emploi de l'avoine, la ferrure, le harnachement, les soins à donner aux chevaux, les races les plus recommandables. Dans ces mêmes congrès, dès 1890 apparaissent les premières études sur la traction électrique.

La traction à vapeur avait bien fait l'objet de quelques applications, sans grands succès pour les transports urbains alors qu'elle se développait rapidement dans les relations interurbaines.

L'air comprimé, les gaz, la traction par câbles souterrains n'eurent pas plus de succès.

1890 marque le début d'une époque, celle de l'électricité dans ses applications à la traction des véhicules.

Les Transports en commun vont connaître une ère de prospérité et d'extension qui leur permettront de satisfaire à l'augmentation démographique des villes et de leur banlieue.

Leur évolution technique fut d'abord lente de 1890 à 1920, puis plus rapide pour faire face à la concurrence des moyens individuels de transport : bicyclettes et automobiles, et au développement des centres urbains et industriels.

Les législations auxquelles furent soumis les Transports en commun dans la première période ont eu généralement un effet retardateur. C'est ainsi que les vitesses prescrites dans nombre de pays pour le tramway ne dépassaient pas 12 à 20 km à l'heure.

Ces prescriptions légales conditionnèrent les premiers types de voitures de tramways à deux essieux, équipés de moteurs série lents de faible puissance, insuffisants pour le remorquage qui n'était du reste pas autorisé en l'absence d'un frein continu.

Dès 1892, le trolley a remplacé le chariot de prise de courant.

L'introduction du freinage à air comprimé allait permettre l'accouplement de remorques nécessitant l'augmentation de la puissance des moteurs.