Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 55 (1929)

Heft: 17

Artikel: Détermination de la résistance probable d'un béton connaissant son dosage et sa densité au moment du gâchage

Autor: Bolomey, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-42676

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: 21.07.2025

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

55e année 24 août 1929 N° 17

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Détermination de la résistance probable d'un béton connaissant son dosage et sa densité au moment du gâchage*, par J. Bolomey, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne. — *La nouvelle ordonnance fédérale du 7 mai 1929 sur la protection des passages à niveau*, par M. H. Hunziker, ingénieur, Directeur de la Division des chemins de fer du Département fédéral des Postes et des Chemins de fer. — *Concours d'idées pour la construction d'une Grande Salle, à La Tour de Peilz* (suite). — *Deuxième Conférence mondiale de l'énergie, à Berlin, en 1930.* — *Le centenaire de Faraday.* — *Congrès international des Mines, de la Métallurgie et de la Géologie appliquée.* — Sociétés : *Société suisse des ingénieurs et des architectes.* — Bibliographie. — — Carnet des concours. — *Service de placement.*

Détermination de la résistance probable d'un béton connaissant son dosage et sa densité au moment du gâchage

par J. BOLOMEY, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne.

La méthode usuelle de contrôle de la qualité du béton, basée sur le prélèvement d'éprouvettes qui seront écrasées à 7, 28 et 90 jours, a le grave inconvénient que les résultats sont connus trop tardivement pour permettre de remédier à temps à des défauts éventuels. Il y a donc un avantage évident à pouvoir déterminer approximativement, au moment du gâchage, quelle sera la résistance du béton qui va être mis en œuvre.

Les recherches de Feret, puis celles d'Abrams, de Graf, de Bolomey ont démontré que la résistance d'un mortier ou d'un béton dépend en premier lieu :

a) de la qualité du liant, de la durée et du mode de durcissement ;

b) du rapport des quantités de liant et d'eau de gâchage, ces quantités étant exprimées en volumes ou en poids.

C'est-à-dire $R = f(K, C, E)$

K est le coefficient de qualité du liant, il dépend de la nature du liant ainsi que de la durée et du mode de durcissement.

C est le dosage en ciment, E la quantité d'eau de gâchage correspondante.

Connaissant K, C et E, la résistance probable du mortier ou du béton sera déterminée au moyen de l'une ou l'autre des formules :

Feret $R = K\left(\frac{c}{1-s}\right)^2$ c et s étant les volumes occupés par le ciment et le ballast dans l'unité de volume de béton.

Abrams $R = \frac{K'}{7^x}$ $x = \frac{\text{volume eau de gâchage}}{\text{volume apparent du ciment}}$

Graf $R = \frac{Rn}{400} \times \left(\frac{1640}{7^{2w}} + 30\right)$ Rn = résistance à 28 jours du mortier normal 1 : 3 damé mécaniquement.

$w = \frac{\text{Poids eau de gâchage}}{\text{Poids du ciment}}$

Bolomey $R = \left(\frac{C}{E} - 0{,}50\right) \times K''$

qui n'est qu'une simplification pour le chantier de la formule générale

$R = \left[\left(\frac{\Delta}{2{,}35}\right)^2 \cdot \frac{C}{E}\right]^{3/2} \cdot \frac{K''}{2}$ Δ = densité du béton

$\frac{C}{E} = \frac{\text{Poids du ciment}}{\text{Poids eau de gâchage}}$

Ces diverses formules permettent toutes de calculer avec une précision suffisante pour les besoins du chantier (erreur ± 20 %) les résistances qui seront atteintes par les divers mortiers ou bétons. La dernière a sur les autres l'avantage d'un emploi plus facile, tout en offrant une plus grande exactitude du fait qu'elle tient compte de la compacité du béton.

Les valeurs à différents âges du coefficient de qualité K d'un liant donné peuvent être évaluées soit en préparant quelques éprouvettes de mortiers ou de bétons dont on connaît exactement le dosage, l'eau de gâchage, la densité et la résistance, soit en se basant sur les résultats des essais normaux à 7 et 28 jours, Rn_7 et Rn_{28}

$$K'' \text{ 7 jours} = \frac{Rn_7}{3{,}4}$$

$$K'' \text{ 28 jours} = \frac{Rn_{28}}{2{,}7}$$

La détermination du facteur $\frac{C}{E}$ est très simple lorsqu'on utilise un ballast sec : on mesure la quantité d'eau qu'il faut ajouter à une gâchée (dosage 1 ou 2 sacs de ciment) pour obtenir la consistance désirée. L'opération est plus délicate lorsqu'on fait usage de ballast humide, ce qui est le cas le plus fréquent. Il faut tenir compte en effet, non seulement de l'eau ajoutée, mais aussi de celle qui est déjà retenue par le ballast. La détermination de la

teneur en eau du ballast humide n'offre en elle-même aucune difficulté, mais c'est une opération assez longue puisqu'il faut peser un certain volume de ballast humide, puis le repeser après l'avoir fait sécher. Or, pour être réellement pratique, le calcul de la résistance probable doit pouvoir se faire en quelques minutes. Ceci n'est possible qu'au moyen de la densité du béton frais, compact.

La densité d'un béton compact, dont tous les vides sont remplis par le lait de ciment, dépend en effet : du poids spécifique du ciment et de celui du ballast, des poids du ciment et du ballast, ainsi que de la quantité d'eau nécessaire pour remplir tous les vides de l'unité de volume de béton.

En désignant par :

Δ la densité du béton frais compact,

Δc, Δs les poids spécifiques du ciment et du ballast,

C, S, E les poids en kg du ciment, du ballast et de l'eau par m³ de béton,

c, s, e les volumes en litres occupés par le ciment, le ballast et l'eau dans le m³ de béton,

on a, si la porosité est nulle :

$$\Delta = C + S + E$$

d'où $$S = \Delta - C - E$$

$$1000 = c + s + e$$

d'où $$1000 - c = s + e = \frac{S}{\Delta s} + E$$

$$1000 - c = \frac{\Delta - C - E}{\Delta s} + E$$

d'où on tire

1) $$E = \frac{(1000 - c)\,\Delta s - (\Delta - C)}{\Delta s - 1}$$

si le béton a une porosité de p litres par m³, on trouverait

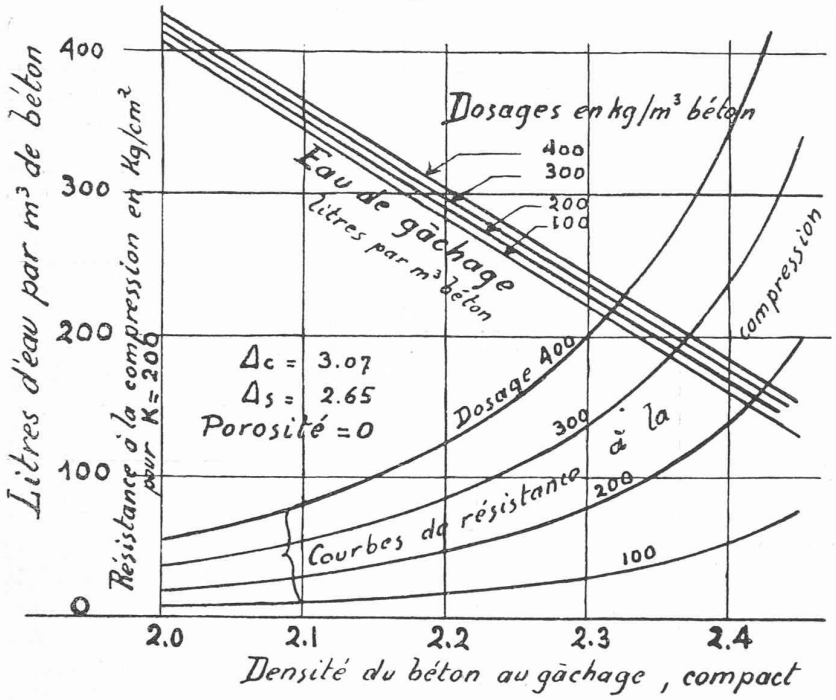
2) $$E = \frac{[1000 - (c + p)] \times \Delta s - (\Delta - C)}{\Delta s - 1}$$

Connaissant les poids spécifiques Δc et Δs, le dosage C et par suite $c = \frac{C}{\Delta c}$, on en déduit immédiatement E dès que la densité Δ du béton est également connue. Une fois E déterminé, la résistance probable se calculera sans difficulté par la formule

$$R = K\left(\frac{C}{E} - 0{,}50\right)$$

Il est nécessaire de connaître le dosage effectif C de ciment par m³ de béton. Celui-ci sera obtenu en mesurant exactement le rendement en béton d'une ou plusieurs gâchées ; comme à chaque gâchée on ajoute une quantité connue de ciment, le dosage effectif par m³ de béton pourra se calculer lorsqu'on aura mesuré le volume occupé par le béton d'une gâchée.

Fig. 1.



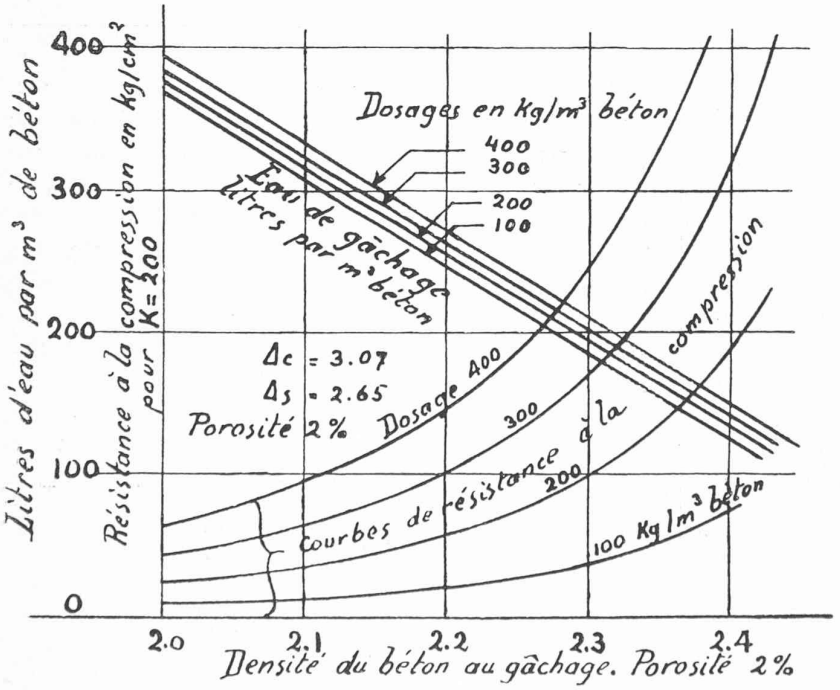


Fig. 2.

Détermination de la quantité d'eau de gâchage et de la résistance à la compression en fonction de la densité du béton compact au gâchage.

Résistance à la compression $R_c = \left[\left(\frac{\Delta}{2.35}\right)^2 \times \frac{C}{E}\right]^{1/2} \times \frac{K}{2}$.

K = Cœfficient de qualité du liant.
Δ = Densité du béton au gâchage.
C = Dosage
E = Eau de gâchage } par m³ de béton.

Au moyen des formules 1) et 2) on peut établir des graphiques, analogues aux fig. 1 et 2, donnant la quantité d'eau de gâchage et la résistance probable en fonction du dosage et de la densité du béton frais et ceci pour divers degrés de porosité. C'est ainsi que la fig. 1 a été établie en admettant :

Poids spécifique du ciment	$\Delta c = 3{,}07$
» » » ballast	$\Delta s = 2{,}65$
Coefficient de qualité du ciment	$K = 200$
Porosité	nulle

tandis que pour la fig. 2 il a été admis une porosité de 2 %, c'est-à-dire que le 2 % du volume du béton est occupé par des pores.

La fig. 2 correspond mieux que la fig. 1 aux conditions effectives de mise en place du béton sur le chantier. Il est en effet très difficile de chasser complètement l'air qui est emprisonné dans le béton, ce qui naturellement diminue sa densité apparante et peut faire croire à un excès d'eau de gâchage.

La comparaison des fig. 1 et 2 montre que le degré de précision de la détermination de la résistance probable au moyen de la densité du béton dépend essentiellement du soin qui aura été apporté à la détermination de la densité du béton, du dosage, de la porosité. Pour un béton à 300 kg ayant une densité de 2,35, la résistance probable sera de 175 kg/cm² (fig. 1) si $K = 200$ et la porosité nulle, tandis que pour une même densité de 2,35, même dosage 300 kg, même $K = 200$, la résistance sera de 225 kg/cm² (fig. 2) si la porosité est de 2 %. Une erreur de 2 % dans la détermination de la porosité ou de la densité entraîne ainsi, dans ce cas particulier, une erreur de 28 % dans l'évaluation de la résistance probable.

Comme la détermination de la densité du béton sur les chantiers présente facilement des erreurs de 1 à 2 %, la résistance probable du béton ne pourra guère être déduite par cette méthode qu'à ± 20 % près, ce qui sera du reste suffisant dans la plupart des cas et permettra de remédier à temps à une composition granulométrique nettement défectueuse ou à un excès d'eau de gâchage. La porosité des bétons secs, damés, étant toujours considérable et d'ailleurs variable, leur résistance probable ne peut être évaluée par le moyen de la densité du béton ; cette méthode est uniquement appliquable aux bétons mous ou coulés.

L'avantage essentiel de cette méthode est son extrême simplicité et la rapidité de son emploi. Pour ces raisons elle convient particulièrement bien pour les petits chantiers : Il suffit de vérifier le dosage effectif par m³ de béton au moyen d'un essai de rendement, puis de peser un volume connu de béton rendu bien compact en frappant sur le moule pour expulser les bulles d'air. Si le coefficient de qualité K du liant est autre que celui de 200 admis pour les fig. 1 et 2, la résistance probable sera obtenue en multipliant les résistances données par les fig. 1 (résistance minimum) ou fig. 2 (résistance maximum) par le rapport $\frac{K}{200}$.

Les valeurs K des ciments suisses seront généralement comprises dans les limites :

	7 jours	28 jours
Ciment portland ordinaire	90 — 130	150 — 220
» » à haute résistance	150 — 200	230 — 270

Le degré de précision sera notablement accru si l'on a effectué quelques essais *préliminaires* consistant à déterminer :

a) Poids spécifique de la roche constitutive du ballast.

b) » » du ciment.

c) Essais de gâchage en utilisant des quantités exactement connues, mais variables d'un essai à l'autre, de ciment, ballast et eau de gâchage. En déterminant la densité du béton ainsi obtenu on en pourra déduire la porosité, en général comprise entre 0 et 2 %.

d) Détermination de la résistance effective des bétons ci-dessus.

Ces essais préliminaires permettront d'établir des courbes de résistance correspondant exactement aux conditions locales et donnant par suite la résistance probable des bétons à 5 — 10 % près, c'est-à-dire avec une précision suffisante pour pouvoir être utilisées sur de grands chantiers tels que barrages, etc. Dans ce dernier cas, les graphiques établis lors des essais préliminaires seront constamment contrôlés au cours de la construction par les résistances à la compression des cubes qui seront régulièrement prélevés pendant les travaux pour vérifier la qualité effective du béton. Les deux modes de contrôle ne s'excluent pas, mais se complètent très heureusement, la densité du béton frais pouvant être vérifiée plusieurs fois par jour, tandis que le prélèvement des cubes se fera à intervalles plus éloignés.

Au lieu de définir la consistance du béton où d'indiquer la quantité maximum d'eau de gâchage, il sera souvent plus simple et plus efficace de prescrire dans le cahier des charges *le dosage* et *la densité minimum* du béton.

Le tableau ci-après indique les densités, porosités et résistances d'une série de mortiers et bétons aux dosages de 400, 300 et 200 kg préparés avec des ballasts roulés gradués suivant la parabole de Fuller modifiée

$$P = 10 + 90\sqrt{\frac{d}{D}}$$

D = diamètre maximum des grains de ballast en mm.

d = diamètre quelconque compris entre O et D mm.

P = pourcentage en poids des grains du ballast de diamètre plus petit que d mm.

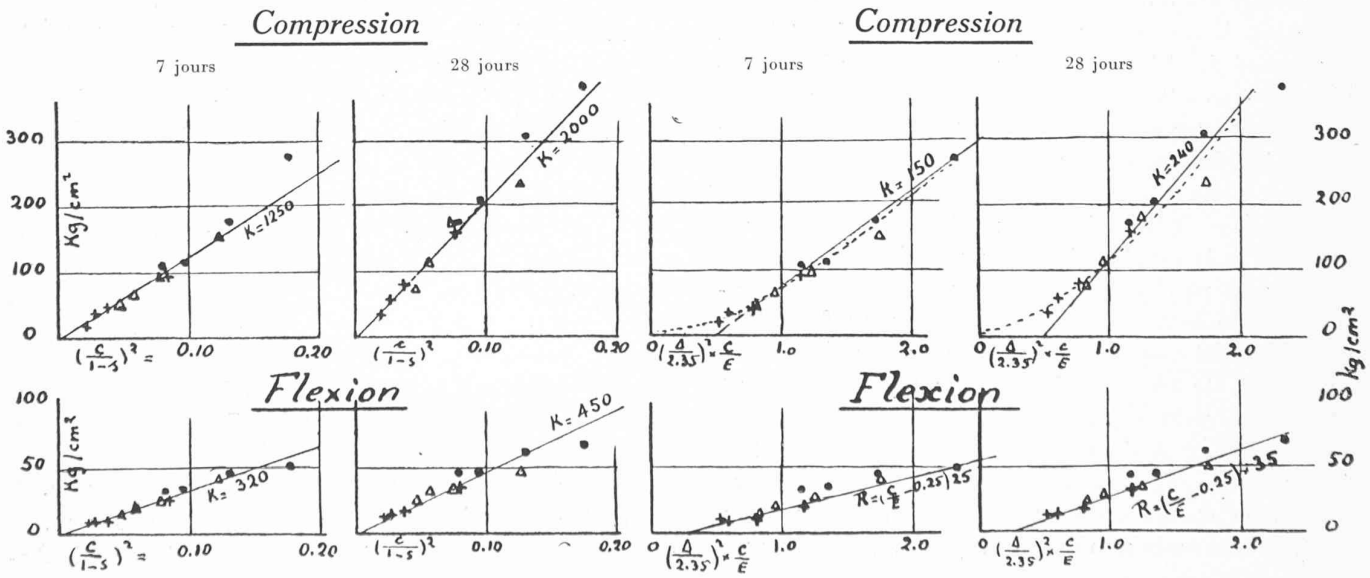
Composition interne, densité et résistance de mortiers et bétons à divers dosages et à diverses grosseurs maxima D du ballast roulé gradué suivant

$$P = 10 + 90 \sqrt{\frac{d}{D}}.$$

Ballast gradué suivant $P = 10 \times 90 \sqrt{\frac{d}{D}}$ $D =$	C en kg par m³ béton $\Delta c = 3.07$	E	S $\Delta s = 2.65$	Densité Δ	Porosité %	$\left(\frac{c}{1-s}\right)^2$	$\left(\frac{\Delta}{2.35}\right)^2 \times \frac{C}{E}$	Compression 7 j. kg/cm²	Compression 28 j. kg/cm²	Flexion 7 j. kg/cm²	Flexion 28 j. kg/cm²
2 mm	385	280	1485	2.15	3.1	0.081	1.15	107	176	32	45
4 »	391	259	1560	2.21	2.2	0.096	1.34	115	205	34	46
8 »	397	220	1683	2.30	0.9	0.129	1.73	179	307	45	62
20 »	408	183	1829	2.42	0.0	0.176	2.32	275	383	50	64
2 mm	283	275	1542	2.10	5.0	0.048	0.83	48	77	15	25
4 »	286	254	1630	2.17	3.6	0.058	0.96	68	115	21	31
8 »	292	215	1743	2.25	3.0	0.078	1.24	97	183	27	34
20 »	303	182	1915	2.40	0.0	0.122	1.75	155	234	42	48
2 mm	187	272	1601	2.06	6.30	0.024	0.53	22	34	10	13
4 »	188	250	1692	2.12	5.3	0.028	0.61	37	59	9	14
8 »	192	212	1816	2.22	4.3	0.038	0.80	64	83	10	18
20 »	204	167	2039	2.41	0.0	0.078	1.16	90	159	21	32

Tous ces mortiers et bétons ont été préparés à la même consistance suffisamment molle pour que la mise en place ait pu se faire sans damage, mais simplement en secouant et en frappant sur les moules métalliques (cubes de 7 cm de côté et prismes de 4/4/16 cm).

Le durcissement s'est effectué dans l'eau à +17°.



Formule de *Feret*. Formule de *Bolomey*.

On remarque que :

Pour chaque nature de ballast la résistance croît en même temps que le dosage.

Pour chaque dosage la résistance augmente en même temps que la densité.

La densité croît à mesure que le diamètre maximum D des grains du ballast augmente.

La porosité diminue à mesure que D augmente.

La quantité d'eau de gâchage diminue, pour une même consistance, quand D augmente.

Le poids du ballast par m³ de béton augmente en même temps que D, il diminue si le dosage augmente.

Le degré de précision des formules *Feret* et *Bolomey* est sensiblement le même ; ces formules sont aussi applicables aux essais à la flexion.

Pourvu que le durcissement se fasse dans de bonnes conditions, les résistances à la flexion sont presque aussi régulières que celles à la compression ; connaissant les unes il est possible de déterminer les autres. Ceci est important car, sur les chantiers, les essais à la flexion sont plus faciles à exécuter que ceux à la compression.

Le rapport $\frac{Rf}{Rc}$ peut toutefois varier d'un liant à l'autre suivant l'énergie chimique du liant et les tensions internes qu'elle provoque. Celles-ci influencent davantage la résistance à la flexion que celle à la compression.

Dans le cas de bétons au ciment portland, durcissant dans l'eau, on a :

Résist. à la compression.	*Résist. à la flexion.*
40 kg/cm²	12 kg/cm²
70 »	21 »
100 »	28 »
150 »	37 »
200 »	45 »
250 »	52 »
300 »	57 »
350 »	62 »

Les écarts dépasseront rarement 20 %.

Lausanne, juillet 1929.

La nouvelle ordonnance fédérale du 7 mai 1929 sur la protection des passages à niveau

par M. H. HUNZIKER, ingénieur,
Directeur de la Division des chemins de fer du Département fédéral des Postes et des Chemins de fer.

Le Conseil fédéral, sur la proposition de son département des postes et des chemins de fer, a promulgué une ordonnance sur *la fermeture et la signalisation des croisements à niveau des chemins de fer avec les routes et chemins publics.* Le but de cette ordonnance est d'unifier, sur tout le territoire de la Confédération suisse, les dispositifs destinés à signaler les passages à niveau publics à l'attention des usagers de la route.

Bien qu'elle intéresse tout particulièrement les conducteurs des véhicules à moteurs, l'ordonnance en question est néanmoins d'un intérêt si général qu'il paraît utile de donner quelques précisions sur sa portée.

L'accroissement du nombre des véhicules à moteur a eu comme effet d'augmenter les cas d'infraction à la loi sur la police des chemins de fer, de mises en danger de ces derniers et, en conséquence, du nombre des accidents qui en résultent. La gravité de cet état de choses, préjudiciable tant à la sécurité du trafic ferroviaire qu'au trafic routier, n'a pas échappé à l'attention du département fédéral des chemins de fer. Il y a quelques années déjà que cette autorité prit l'initiative de rechercher les moyens propres à augmenter la sécurité de la circulation aux passages à niveau ; elle le fit en collaboration avec les Autorités cantonales, les administrations ferroviaires et les associations de tourisme routier. Il a déjà été placé à l'usage des automobilistes des plaques triangulaires d'avertissement portant la silhouette d'une barrière ou d'une locomotive ; mais ces écriteaux, appartenant à la signalisation routière, se sont révélés assez rapidement comme insuffisants. Il fut reconnu indispensable que le point où la route croise le chemin de fer soit lui-même désigné clairement et d'une manière uniforme. La suppression pure et simple des passages à niveau et leur remplacement par des passages sur ou sous voies serait certainement la solution la meilleure ; mais elle se heurte à des considérations financières pratiquement insurmontables, sans compter que la réalisation d'un tel programme serait une question de très longue haleine. Il ne faut pas oublier en effet que le réseau des chemins de fer suisses ne compte rien de moins que 5500 passages à niveau publics.

Les propositions et suggestions pour des installations de sécurité aux passages à niveau furent multiples et variées, et il fallut procéder à de nombreuses expériences avant de pouvoir en arriver à des conclusions pratiques.

L'ordonnance dont il est question ici est entrée en vigueur le 1er juin dernier ; il a déjà été dit qu'elle est applicable à tous les croisements à niveau *publics* des chemins de fer en territoire suisse. Ces croisements sont actuellement pourvus de barrières commandées sur place ou à distance, ou n'ont aucun gardiennage ; cette dernière alternative est surtout le cas sur les chemins de fer secondaires. L'ordonnance innove, en ce sens qu'elle prévoit l'emploi d'un nouveau mode de protection des passages à niveau par un procédé optique et acoustique, actionné soit par les agents du chemin de fer soit automatiquement par le train lui-même ; elle dispose par ailleurs que les passages à niveau qui ne sont protégés ni par des barrières ni par des signaux optiques et acoustiques doivent être désignés par des signaux avertisseurs. L'usager de la route aura ainsi à l'avenir à distinguer entre : la fermeture effective du passage à niveau au moyen de barrières ; la fermeture figurée par signalisation optique