

119

CONTRIBUTION
AU CALCUL DE L'ÉPAISSEUR
DE LA SUPERSTRUCTURE DES CHAUSSÉES

PAR

E. RECORDON

Ingénieur EPUL S.I.A.

Tiré à part du « BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE »,
N° 26 du 29 décembre 1962

39

Offert par la

Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondations
Schweizerische Gesellschaft für Bodenmechanik und Foundationstechnik

Überreicht durch die

CONTRIBUTION AU CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DE LA SUPERSTRUCTURE DES CHAUSSÉES ¹

par E. RECORDON, ingénieur EPUL S.I.A.

I. Introduction

Jusqu'en 1925, aucune méthode scientifique ne permettait de fixer l'épaisseur à donner à la superstructure des chaussées, compte tenu de ses caractéristiques, de celles du terrain et des sollicitations auxquelles elle est soumise.

C'est à partir de cette année-là que plusieurs méthodes empiriques se sont développées aux Etats-Unis. Ces méthodes ont été établies à partir d'observations, faites dans différents Etats (Californie, Kansas, Texas, Dakota du Nord), sur le comportement des routes. Elles permettent de fixer l'épaisseur de la superstructure en fonction d'un coefficient qui caractérise la qualité du sol d'assise et qui est obtenu par un essai standard exécuté en laboratoire ou « in situ ». Toutefois, ces méthodes ne sont applicables qu'à un type de superstructure qui est celui des routes dont on a étudié le comportement à l'origine et qui étaient toutes construites avec revêtements souples (voir type 1 de la figure 1).

Depuis une dizaine d'années, l'augmentation du volume du trafic et de la vitesse des véhicules oblige les

constructeurs de routes à utiliser des revêtements plus épais et plus rigides (types 2 et 3 de la figure 1). L'épaisseur de la superstructure de ces nouvelles chaussées ne peut plus être fixée à partir des méthodes empiriques américaines. Le coût du revêtement devenant en outre élevé, il s'est avéré nécessaire de rechercher une méthode plus élaborée permettant de calculer l'épaisseur des diverses couches en fonction de leurs propriétés physiques. Quelques groupes de chercheurs, spécialement en Europe, reprennent actuellement le problème du calcul des chaussées dans toute sa généralité en considérant la superstructure comme une série de plaques superposées reposant sur un milieu semi-infini.

L'objet de notre travail est de montrer quel est le domaine d'application des diverses méthodes de dimensionnement des chaussées. Nous utiliserons pour cela les résultats acquis par le *Laboratoire de géotechnique*

¹ Cette étude est tirée du Recueil de travaux offert au professeur A. Stucky, en hommage de reconnaissance, sur l'initiative de l'Association amicale des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de Lausanne, le 27 octobre 1962, l'année de son 70^e anniversaire.

de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne à la suite d'une étude importante¹ sur le comportement et la structure d'une vingtaine de tronçons de route répartis dans tout le canton de Vaud. Ces recherches ont débuté en automne 1959, elles ont pu être faites grâce à un crédit accordé par le Département fédéral de l'intérieur sur proposition de la Commission fédérale de recherches en matière de construction de routes.

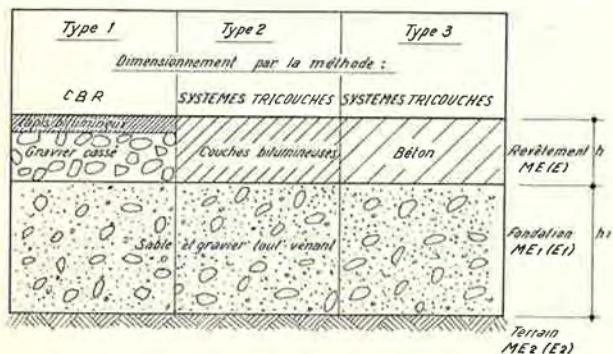


Fig. 1. — Les trois types principaux de superstructure de chaussée.

II. Rappel des principales méthodes de dimensionnement

A. Dimensionnement en l'absence de gel

La méthode CBR [1] [2] [3]² (California Bearing ratio — Indice portant californien) a été développée en Californie vers 1928. C'est la méthode de dimensionnement des chaussées à revêtement souple la plus utilisée encore actuellement.

L'essai standard qui permet de déterminer l'indice CBR consiste à enfoncer dans le sol un poinçon cylindrique de 2 pouces de diamètre, à vitesse constante ($1/20$ pouce par minute). L'indice portant est la force, par unité de surface, nécessaire à enfoncer le piston dans le sol 2 minutes après le début de l'essai, rapportée à la même force mesurée une fois pour toutes sur un macadam de référence. Il s'exprime en pour-cent.

L'épaisseur de la chaussée $h + h_1$ (voir figure 1), est donnée en fonction de l'indice CBR, i et de la charge par roue des véhicules, P en tonnes, par la formule :

$$h + h_1 = \frac{100 + 150 \sqrt{P}}{i + 5} \text{ cm}$$

Cette méthode n'est applicable qu'à des chaussées dont le revêtement est composé d'une couche de macadam (gravier cassé) et d'un tapis bitumineux mince ; et dont la fondation est en sable et gravier tout-venant (type 1 de la figure 1). Elle ne s'applique donc pas aux revêtements rigides (types 2 et 3 de la figure 1).

La méthode des indices de groupes [2] est d'origine américaine également. Elle permet de fixer l'épaisseur d'une chaussée à partir de la granulométrie, et des limites d'Atterberg du terrain. Ces caractéristiques permettent de calculer l'indice de groupe I_g , l'épaisseur étant ensuite donnée en fonction de l'indice de groupe par :

$$h + h_1 = \frac{11}{4} I_g - \frac{1}{16} I_g^2 + 30 \text{ cm}$$

¹ Cette étude a été entreprise sous la direction du professeur D. Bonnard, directeur du Laboratoire de géotechnique de l'EPUL.

² Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée en fin de texte.

Cette méthode ne s'applique également qu'aux chaussées du type 1 (fig. 1). Elle est moins précise que celle du CBR, puisqu'elle ne fait pas intervenir les propriétés mécaniques (résistance au cisaillement) du terrain d'assise.

De nombreuses autres méthodes analogues à ces deux premières sont utilisées en Amérique pour le dimensionnement des chaussées à revêtement souple, mais aucune d'elles n'est plus précise que la méthode CBR.

La méthode des systèmes multicouches permet de calculer les déformations et les contraintes dans le revêtement et la fondation en faisant l'hypothèse que le terrain et la fondation sont des solides élastiques et que le revêtement est une plaque élastique. Cette méthode a pu se développer grâce aux travaux de Westergaard (1926) puis de Burmister (1934 et 1945), Fox (1948), Jeuffroy et Bachelez (1957) ainsi que quelques autres auteurs qui ont étudié les systèmes bicouches (une couche élastique reposant sur un milieu élastique semi-infini) puis les systèmes tricouches (deux couches élastiques reposant sur un milieu élastique semi-infini).

Jeuffroy et Bachelez ont publié des abaques [4] donnant les valeurs de la déflexion, de la contrainte de flexion dans le revêtement et de la contrainte de compression sur le terrain en fonction des épaisseurs du revêtement et de la fondation pour diverses valeurs des rapports des modules d'élasticité

$$\frac{E}{E_1} \text{ et } \frac{E_1}{E_2} \text{ (tels qu'ils sont définis à la figure 1).}$$

Actuellement, une équipe de chercheurs du Laboratoire central des Ponts et Chaussées, à Paris, entreprend les calculs relatifs à des cas de chaussées plus complexes : le nombre des couches est plus grand, le revêtement est considéré comme un solide visco-élastique et non plus uniquement élastique (à l'aide de modèles rhéologiques visco-élastiques).

Il est probable que dans quelques années, on disposera de méthodes de calcul très perfectionnées.

B. Dimensionnement en présence de gel

La méthode de limitation de la pénétration du gel dans le terrain [2] [5] consiste à remplacer le terrain gélif par des matériaux graveleux, non gélifs, de manière à ce que le terrain ne soit pratiquement plus touché par le gel. C'est la méthode normalisée par l'Union suisse des professionnels de la route [5] [6]. Pour appliquer cette méthode, il est nécessaire de connaître la profondeur de pénétration du gel et le degré de sensibilité au gel du terrain.

A ce sujet, il nous paraît utile de faire les remarques suivantes :

- 1° Dans la norme SNV 40 325, les sols sont répartis en 4 classes selon leur degré de gélivité. Or, une étude statistique du Laboratoire de géotechnique de l'EPUL [7], portant sur 4350 échantillons analysés, a montré qu'en Suisse romande la fréquence des sols de chacune de ces quatre classes est la suivante :

Classe a)	sols non gélifs	2 %
Classe b)	sols peu gélifs	12 %
Classe c)	sols gélifs	15 %
Classe d)	sols très gélifs	71 %

86 % des sols sont donc gélifs ou très gélifs, ce qui signifie qu'il est tout à fait exceptionnel en Suisse romande d'avoir à dimensionner une chaussée sans tenir compte de l'action du gel.

- 2° La profondeur de pénétration du gel dans les chaussées était mal connue jusqu'ici. Depuis quelques années,

cette question est étudiée par les Laboratoires de mécanique des sols de l'EPUL et de l'EPF. Les premiers résultats de ces études sont représentés sur la figure 2. Les points noirs sont les résultats de mesures effectuées sur les chaussées du canton de Vaud par le Laboratoire de géotechnique de l'EPUL. Les autres points correspondent aux valeurs calculées par le Laboratoire de mécanique des terres annexé à l'EPF [8]. Sur la base de cette documentation, il paraît indiqué actuellement d'adopter, pour le dimensionnement des chaussées selon la norme 40 325, les valeurs données par les droites en traits pleins de la figure 2.

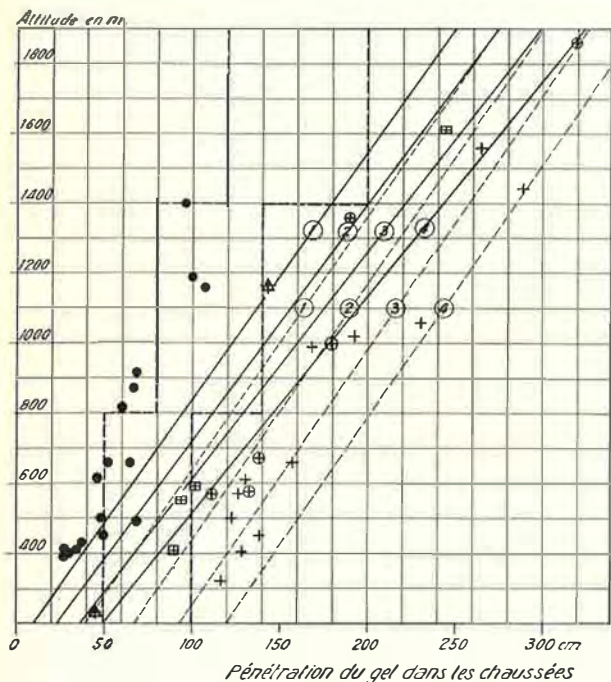


Fig. 2. — Profondeur de pénétration du gel dans les chaussées.

- Moyennes des profondeurs maxima de dix hivers consécutifs.
- - - Moyennes des profondeurs maxima des trois hivers les plus froids d'une période de 30 ans.
- - - - Profondeurs proposées par la norme SNV 40 325.
- Profondeurs mesurées par le Laboratoire de géotechnique de l'EPUL en 1959-1960.
- Profondeurs calculées à partir de l'indice de gel, par le Laboratoire de mécanique des terres de l'EPF (trois hivers les plus froids d'une période de trente ans).
- ① △ Tessin, jusqu'à 500 m d'altitude.
- ② □ Bords du Léman jusqu'à 500 m et Valais.
- ③ ○ Plateau et Alpes au sud-ouest de la ligne Grimsel-Bienne.
- ④ + Plateau et Alpes au nord-est de la même ligne et Jura, au-dessus de 800 m.

La méthode de limitation des efforts au niveau inférieur de la fondation [2] fixe l'épaisseur de la superstructure de manière à ce que les efforts transmis au terrain soient assez réduits en période de dégel pour que la stabilité de la chaussée soit assurée. Dans ce cas, l'épaisseur de la superstructure étant plus faible que celle qui est donnée par la méthode précédente, le gel pénètre dans le terrain. Des gonflements peuvent donc apparaître par formation de lentilles de glace dans le sol gélif. La chaussée subit des déformations en période de gel, mais celles-ci sont suffisamment peu importantes pour que le revêtement ne subisse pas de dommages.

III. Etude de la structure et du comportement de quelques tronçons de routes vaudoises

Les tronçons de route étudiés ont été choisis de manière à ce qu'ils soient répartis dans toutes les

régions de la Suisse romande : Préalpes, Jura et Plateau suisse. Ils se trouvent donc dans des conditions climatiques très diverses ; néanmoins, ils subissent tous, dans les hivers normaux, une période de gel, plus ou moins longue suivant leur situation.

Nous avons d'autre part choisi un certain nombre de routes dont le comportement a été satisfaisant et d'autres dont le revêtement a été plus ou moins déformé et fissuré.

Une dizaine des tronçons expérimentaux choisis ont fait l'objet, il y a quelques années, d'une étude de notre Laboratoire en ce qui concerne les sols d'assise. Ces routes ont ensuite été reconstruites d'après les indications données par l'étude géotechnique en adaptant l'épaisseur de la superstructure (fondation + revêtement) à la nature des sols et aux conditions climatiques.

Les autres tronçons, au nombre d'une dizaine également, n'ont pas été reconstruits.

Toutes les chaussées, que nous avons auscultées, ont été construites selon le mode habituel adopté en Suisse ces trente dernières années. Leur structure correspond à celle du type 1 de la figure 1.

Chaque chaussée expérimentale a été auscultée en moyenne en 3 points au droit desquels on a mis en place une sonde pour la mesure de la profondeur de pénétration du gel. Un sondage, de 2 m de profondeur environ au-dessous du niveau de la chaussée, avec prélèvement d'un échantillon de la fondation et d'un échantillon du sol d'infrastructure a en outre été exécuté. Dans chaque sondage, on a mesuré l'épaisseur h du revêtement, h_1 de la fondation et le niveau de l'eau souterraine. Le coefficient CBR a été déterminé « in situ » sur le sol naturel.

Le tableau 1 donne les principales caractéristiques de chaque tronçon expérimental. Le terrain est caractérisé dans les colonnes 4 à 8 par les classes USCS (Norme SNV 70 005) et PRA auxquelles il appartient, par l'indice de groupe I_g , par l'indice portant CBR et le module de compressibilité M_{E_2}

donné en kg/cm^2 ($M_{E_2} = \frac{\sigma}{e} D$ où e est la déflexion d'une plaque circulaire de diamètre D pour une augmentation de contrainte sous la plaque σ).

La superstructure est caractérisée dans les colonnes 9 à 11 par l'épaisseur h du revêtement et h_1 de la fondation données en cm et par le module de compressibilité M_{E_1} de la fondation donné en kg/cm^2 .

La profondeur d'action du gel est donnée en cm. Dans la colonne 12, ce sont les valeurs mesurées sur chaque tronçon à l'aide de sondes au cours de l'hiver 1959-1960 qui a été le plus froid depuis le début des mesures. Dans la colonne 13, ce sont les chiffres obtenus à l'aide de la figure 2.

Les notes données dans la colonne 14 caractérisent le comportement de chaque tronçon ; elles ont été fixées d'après l'aspect du revêtement :

- Note 5 : chaussée sans déformation, ni fissures.
- Note 4 : chaussée légèrement déformée, sans fissures.
- Note 3 : chaussée fortement déformée, avec quelques fissures.
- Note 2 : chaussée fortement déformée, avec fissures généralisées.
- Note 1 : chaussée fortement déformée, avec fissures généralisées et trous dans le revêtement.

IV. Application de la méthode tricouche aux chaussées étudiées

Pour chacune des chaussées étudiées, la valeur de la contrainte de compression sur le sol d'assise, de la contrainte de flexion dans le revêtement et de la déflexion sous l'effet d'une charge de 6,5 t a été calculée à l'aide des abaques établis par MM. Jeuffroy et Bachelez [4].

Nous avons admis

- que la charge était appliquée sur une surface circulaire de 34,4 cm de diamètre (contrainte uniforme de 7 kg/cm²);
- que la valeur du module d'élasticité du revêtement était de 10 000 kg/cm² (gravier cassé + tapis bitumineux);
- que les modules d'élasticité de la fondation et du terrain avaient des valeurs égales à celles des modules de compressibilité M_E .

Les résultats de ces calculs sont donnés à la figure 3.

Cette figure montre clairement que pour les 9 chaussées dont le comportement est satisfaisant, notes 4 et 5, les contraintes dans le revêtement sont inférieures à 24 kg/cm², alors que pour les 8 autres chaussées dont le comportement n'est pas satisfaisant, notes 2 et 3, les contraintes dans le revêtement sont supérieures à ces valeurs.

Pour qu'une chaussée soit satisfaisante, elle doit donc être dimensionnée de telle manière que les contraintes de flexion dans le revêtement, calculées par la méthode tricouche, ne dépassent pas 24 kg/cm² environ. Ceci est en accord avec les conclusions de M. Jeuffroy qui indique comme valeur limite : 25 à 33 kg/cm² (essais WASHO).

Par contre, les figures 2 et 3 montrent qu'il faut être plus prudent dans l'interprétation lorsque l'on prend comme critère de qualité d'une chaussée les contraintes sur le sol ou les déflexions calculées par la méthode tricouche. On a en effet des cas où de mauvaises chaussées

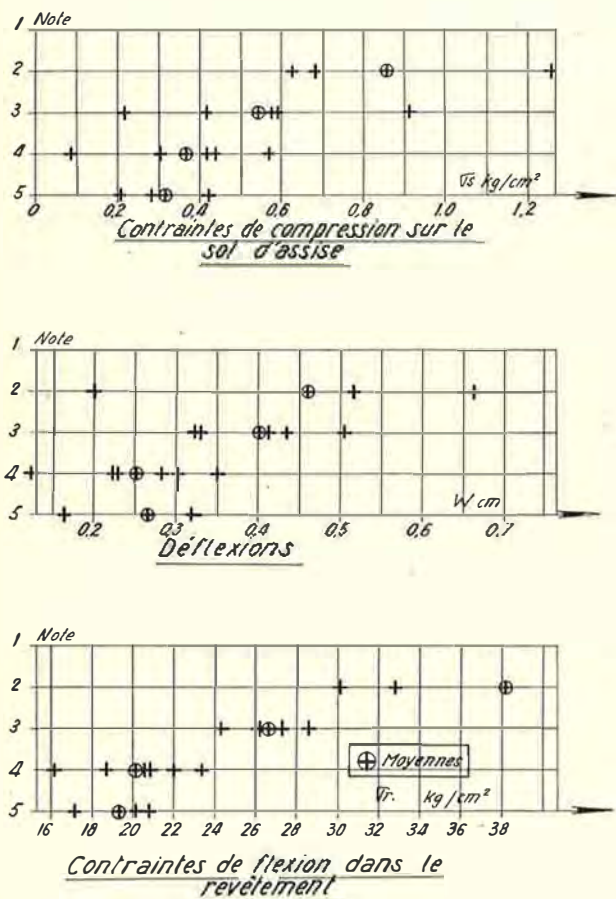


Fig. 3. — Contraintes de compression sur le sol d'assise, de flexion dans le revêtement et déflexions de la surface de la chaussée pour les diverses routes expérimentées en fonction de la note caractérisant le comportement de la chaussée.

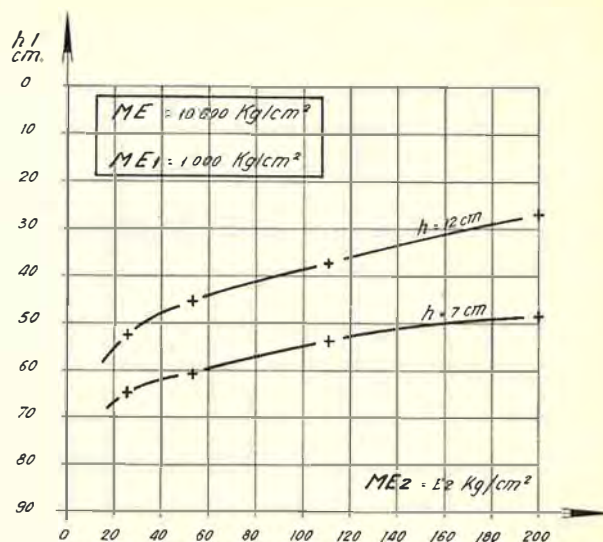


Fig. 4. — Variation de l'épaisseur h_1 de la fondation en fonction du module de compressibilité M_{E2} du sol d'assise. Courbes calculées par la méthode tricouche.

correspondent à des contraintes faibles sur le sol et à de faibles déflexions. Les valeurs de ces deux caractéristiques sont dans quelques cas plus faibles que celles qui correspondent à de bonnes chaussées. On remarque tout de même que les valeurs moyennes croissent lorsque la qualité de la chaussée décroît.

V. Comparaison des diverses méthodes de dimensionnement

Il est intéressant de calculer l'épaisseur de la superstructure par les cinq méthodes décrites dans le chapitre II en fonction des caractéristiques du terrain. Nous avons fait ce calcul pour chacune des chaussées mentionnées au tableau 1 et avons comparé les chiffres obtenus aux épaisseurs réelles des chaussées expérimentées. Ces résultats sont groupés au tableau 2 et sont donnés graphiquement à la figure 5.

L'épaisseur de la superstructure a été calculée par la méthode CBR à partir des valeurs de l'indice portant CBR données au tableau 1; elles ont été déterminées par essais « in situ ». Nous avons également utilisé les valeurs de l'indice de groupe et de la profondeur de pénétration du gel fixées à l'aide de la figure 2 et données au tableau 1.

Les chiffres entre parenthèses, dans la dernière colonne du tableau 2, sont les notes caractérisant le comportement des chaussées.

Pour les calculs, par la méthode tricouche, nous avons admis les caractéristiques suivantes comme bases du dimensionnement :

- Charge par roue : 6,5 t.
- Surface chargée circulaire de 34,4 cm de diamètre.
- Contrainte uniforme sur la surface chargée de 7 kg/cm².
- Épaisseur du revêtement : $h = 12$ cm.
- Module d'élasticité du revêtement : $E = 10\,000$ kg/cm².
- Module d'élasticité de la fondation : $E_1 = 1\,000$ kg/cm².

Ces caractéristiques étant admises, nous avons calculé, à l'aide des abaques de la méthode tricouche, la courbe donnant l'épaisseur de la fondation h_1 en fonction du module de compressibilité M_{E2} du terrain.

La figure 4 donne cette courbe qui a permis de déterminer les valeurs de h_1 données entre parenthèses dans la quatrième colonne du tableau 2. (Cette figure donne également, à titre indicatif, la courbe correspondant à $h = 7$ cm.) Les autres chiffres de cette colonne correspondent à $h_1 + h$.

TABLEAU 1

1	2	3	Terrain					Superstructure			Profondeur d'action du gel		14
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Route cant. n°	Tronçon de route cantonale	Altitude moyenne m	Classe USCS	Classe PRA	I_g	CBR %	ME_2 kg/cm ²	h cm	h_1 cm	ME_1 kg/cm ²	Mesurée en 1959/60	Fixée selon fig. 2	Note
82	Ecublens - Chavannes / Renens	400	CL	A6	4,6	10	150	5	55	1500	30	52	4
780	Déviation de Bex	410	GC	A2-6	0,3	6	90	12	50	1800	35	54	5
601	Moudon-Lucens	490	SM-ML	A4	1,0	17	250	8	100	1200	69	80	4
502	Estavayer-Grandcour	500	CL	A4	5,0	7	105	7	45	1500	49	82	5
1	Buchillon-Allaman	410	GM-ML	A4	0,1	11	165	15	40	1070	28	54	4
548	Corcelles - Peney-le-Jorat	820	SM-ML	A2-4	0	19	285	8	45	1400	60	132	5
414	Ogens-Prahins	660	SM-ML	A2-4	0	15	225	5	40	1200	65	108	4
26	Longirod - Saint-Georges	920	ML	A4	5,4	9	135	6	45	1200	68	144	4
259	Bullet-Mauborget	1190	GM-ML	A6	5,5	10	150	8	45	1200	100	208	4
780	Rivaz - Saint-Saphorin	390	CL	A7-6	3,1	7,5	110	10	35	1260	28	50	3
705	Les Mosses - La Lèche-rette	1400	GM-ML	A2-4	3,2	9	135	8	45	1000	95	222	3
761	Les Thioleyres-Palézieux	660	MH	A7-5	12,8	5	75	7	50	1000	52	107	3
706	Vers-l'Eglise - Les Diablerets	1160	GC-CL	A6	2,2	8	120	5	30	1000	107	183	3
773	Belmont-LaCroixs/Lutry	620	CL	A6	9,7	10	150	9	35	1000	46	86	3
289	Essert-Pittet - Ependes	450	CL	A7-6	13,0	7	105	5	35	800	50	75	2
601	Chalet-à-Gobet	870	SM-ML	A2-4	0	16	240	12	25	800	67	140	2
402	Yverdon - Yvonand	430	CL	A7-6	11,6	7	105	8	15	800	38	72	2

La figure 5 permet de faire les commentaires suivants :

Pour les routes dont le comportement est satisfaisant (notes 4 et 5), l'épaisseur de la superstructure mesurée dans les sondages est supérieure à celle qui est donnée par les méthodes CBR, indice de groupe et systèmes tricouches. Elle est inférieure aux valeurs données par les deux méthodes qui tiennent compte du gel. Ces deux méthodes conduisent donc, semble-t-il, dans le canton de Vaud, à surdimensionner les chaussées. Toutefois, la méthode de limitation des efforts au dégel donne des valeurs très voisines des chiffres mesurés.

Pour les routes dont le comportement est mauvais (notes 2 et 3), l'épaisseur de la superstructure mesurée est :

- 1° plus grande que celle qui est fixée par la méthode CBR, dans 6 cas sur 8. La méthode CBR conduit donc à sous-dimensionner la superstructure ;
- 2° plus grande que celle qui est fixée par la méthode des indices de groupe, dans 4 cas sur 8. Cette méthode conduit donc également à des valeurs trop faibles ;

TABLEAU 2

Tronçon de route	Epaisseur de la superstructure $h + h_1$ calculée par la méthode...					
	CBR	Indice de groupe	Systèmes tricouches	Limitation du gel SNV 40 325	Limitation des efforts au dégel	Mesurée dans les sondages
Ecublens - Chavannes/Renens	31	42	44 (32)	58	62	60 (4)
Déviations de Bex	43	31	52 (40)	50	62	62 (5)
Moudon - Lucens	21	33	34 (22)	80	62	108 (4)
Estavayer - Grandcour	39	43	50 (38)	82	62	52 (5)
Buchillon-Allaman	29	31	43 (31)	50	62	55 (4)
Corcelles - Peney-le-Jorat	19	30	32 (20)	96	62	53 (5)
Ogens - Prahins	24	30	36 (24)	83	62	45 (4)
Longirod - Saint-Georges	34	43	46 (34)	117	62	51 (4)
Bullet - Mauborget	31	44	44 (32)	130	62	53 (4)
Rivaz - Saint-Saphorin	38	38	50 (38)	58	62	45 (3)
Les Mosses - La Lécherette	34	39	46 (34)	140	62	53 (3)
Les Thioleyres - Palézieux	47	55	54 (42)	102	62	57 (3)
Vers-l'Eglise - Les Diablerets	36	36	48 (36)	125	62	35 (3)
Belmont - La Croix s/Lutry	31	51	44 (32)	86	62	44 (3)
Essert-Pittet - Ependes	39	55	50 (38)	75	62	40 (2)
Chalet-à-Gobet	22	30	35 (23)	116	62	37 (2)
Yverdon - Yvonand	39	54	50 (38)	72	62	23 (2)

- 3° plus grande que celle donnée par la méthode des systèmes tricouches, dans 3 cas sur 8 (mais dans deux de ces cas, les valeurs sont très voisines). Cette méthode conduirait à des épaisseurs tout à fait correctes, si au lieu d'introduire dans le calcul le module de compressibilité du terrain M_{E_2} mesuré en été, on introduisait la valeur de ce même module correspondant à la période de dégel ;
- 4° plus faible que celle donnée par la méthode de limitation des efforts au dégel ;
- 5° beaucoup plus faible que celle donnée par la méthode de limitation de la pénétration du gel.

VI. Conclusions

La figure 5 fait apparaître que les méthodes CBR et des indices de groupe ne peuvent pas être utilisées chez nous, où l'on ne peut pas dimensionner les chaussées sans tenir compte du gel (à moins du cas exceptionnel des sols non gélifs).

D'autre part, la méthode de limitation de la pénétration du gel dans le terrain est la solution de complète

sécurité, qui élimine toutes déformations dues au gel, mais surdimensionne les chaussées en tout cas pour le canton de Vaud, au point de vue de leur force portante, même au dégel.

La méthode de limitation des efforts sur le terrain d'assise au dégel conduit à des épaisseurs suffisantes. Toutefois, telle qu'elle est présentée par les Américains, elle n'est pas très souple et ne s'adapte pas aux différents types de superstructures.

La méthode des systèmes tricouches permet de calculer l'épaisseur de la superstructure de telle manière que les contraintes sur le terrain d'assise soient limitées à une valeur minimum qui serait celle que l'on peut tolérer au moment du dégel. On peut aussi admettre, ce qui revient au même, que le module de compressibilité du terrain au dégel M_{E_2} ne dépasse pas une valeur limite. La figure 4 montre que si l'on choisit par exemple $M_{E_2} \leq 50 \text{ kg/cm}^2$, l'épaisseur de la fondation est égale à $h_1 \geq 46 \text{ cm}$ pour un revêtement d'une épaisseur de 12 cm. Dans ce cas, l'épaisseur de la superstructure est égale à $h + h_1 \geq 58 \text{ cm}$.

Comportement des chaussées (noles)

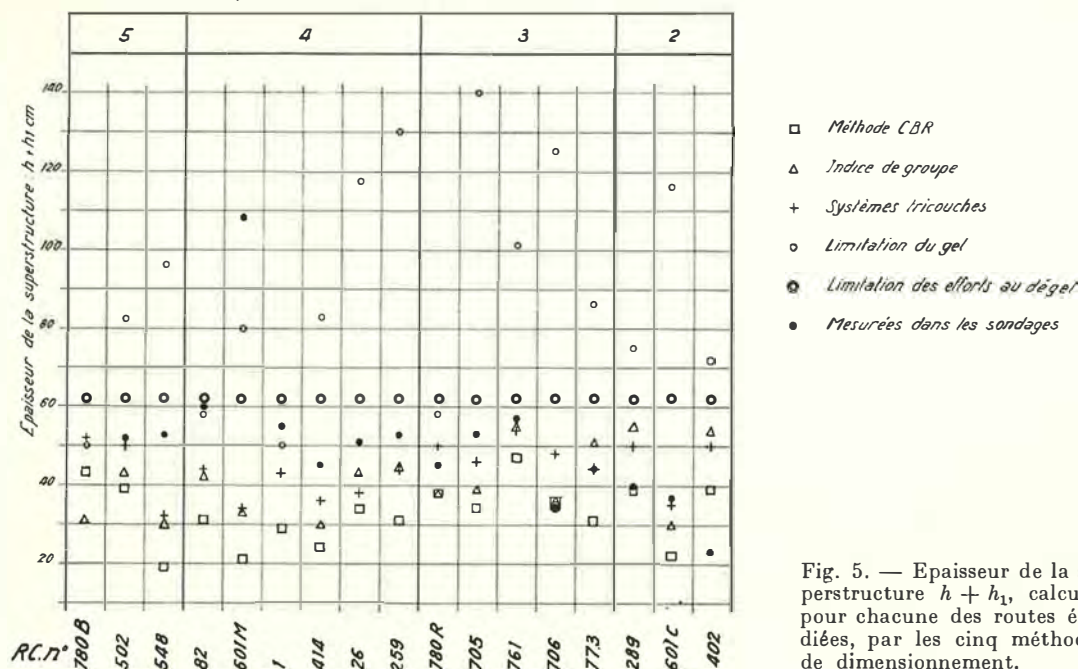


Fig. 5. — Epaisseur de la superstructure $h + h_1$, calculée pour chacune des routes étudiées, par les cinq méthodes de dimensionnement.

La méthode des systèmes tricouches, et dans un proche avenir, celle des systèmes multicouches plus perfectionnée, seront utilisables pour le dimensionnement des chaussées à revêtements épais et rigides aussi bien que des revêtements souples. Il reste néanmoins encore à préciser quels doivent être les modules d'élasticité à introduire dans les calculs, pour le revêtement, pour la fondation et pour les différents types de terrains au dégel (il semble que l'on puisse utiliser, pour la fondation et le terrain, les valeurs des modules de compressibilité résultant d'essais de charge avec plaques).

Toutefois, cette méthode ne pourra être utilisée que pour autant que le gel ne provoque pas, dans le terrain d'assise, des gonflements tels qu'ils soient cause de déformations importantes du revêtement.

Il conviendra donc dans le cas où le gel risque de pénétrer fréquemment à une profondeur supérieure à 1 m ou 1,20 m (à une altitude supérieure à 800 m environ) d'admettre peut-être des épaisseurs de fondation plus fortes ; c'est-à-dire d'appliquer la méthode de limitation de la pénétration du gel dans le sol.

Il serait erroné de penser que les essais sur routes expérimentales, tels que les essais WASHO et AASHO ainsi que les tronçons expérimentaux construits en Angleterre et dans d'autres pays, rendent inutiles les méthodes de calcul des chaussées.

Quelle que soit la variété des superstructures expérimentées, les routes expérimentales ne sont toujours

qu'un cas particulier, en ce qui concerne le terrain et les conditions climatiques. Elles permettent d'étudier dans un pays donné les chaussées les plus courantes et de vérifier les méthodes de dimensionnement dans certains cas, mais ne peuvent les remplacer.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. BONNARD et E. RECORDON : « Les fondations des chaussées ». *La route et la circulation routière*, n° 7/1958.
- [2] *Highway Engineering Handbook 1960*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York.
- [3] Normes de l'Union suisse des professionnels de la route (VSS). SNV 40 330 et 70 315.
- [4] G. JEUFFROY et J. BACHELEZ. *Revue générale des routes*, n° 308/1957. *Annales des Ponts et Chaussées*, n° 3/1959.
- [5] Normes de l'Union suisse des professionnels de la route. SNV 40 325.
- [6] J. E. BONJOUR : « La superstructure de l'autoroute Lausanne-Genève ». *La route et la circulation routière*, nos 11 et 13/1960.
- [7] D. BONNARD et E. RECORDON : « Les sols stabilisables au ciment en Suisse romande ». *La route et la circulation routière*, n° 3/1960.
- [8] G. SCHNITZER : « La structure de la route ». *La route et la circulation routière*, n° 2/1960.

