Effet de la vibration lors du compactage des revêtements en béton bitumineux

Einfluss der Vibration bei Verdichtung von Asphaltbetonbelägen mit Vibrationswalzen

Mandats de recherche nos 62/86 et 56/92 de l'Office fédéral des routes, Berne

Titulaire du mandat : VESTRA, Union d'Entreprises Suisses de Construction de Routes

Exécution du mandat : Laboratoires de : S.A. Conrad Zschokke, Genève
STUAG S.A., Berne
Walo Bertschinger S.A., Zürich

Responsable du projet : J. Dormenval, ingénieur EPFZ

août 1995

TABLE DES MATIÈRES

RESUME II

KURZFASSUNG IV

1. INTRODUCTION 1

2. PLAN D'EXPÉRIENCE 1

2.1. Méthodologie de l'étude 1
2.2. Nomenclature des essais 1
2.3. Numérotation des carottes 4
2.4. Répartition des carottes et des essais 5
2.5. Laboratoires participant aux essais 7

3. CHOIX DES PLANCHES D'ESSAI 7

3.1. Difficultés du choix 7
3.2. Tronçon d'essai RC 131 Koblenz-Zurzach (Argovie) 8
3.3. Tronçon d'essai N.9 Sion (Valais) 14

4. ESSAIS IN SITU ET INTERPRETATION DES RESULTATS 21

5. ESSAI SUR CAROTTES ET INTERPRETATION DES RESULTATS 34

6. CONCLUSIONS 49

7. RECOMMANDATIONS A L'USAGE DU PRATICIEN 52

BIBLIOGRAPHIE 54

ANNEXES 55

RESUME

La présente étude avait pour but d'observer et de quantifier l'influence de la vibration lors du compactage des enrobés bitumeux au moyen d'un rouleau vibrant.

Afin de réduire au minimum le nombre de paramètres, on a limité la recherche à un enrobé pour couche de surface posé en 4 cm d'épaisseur. Cet enrobé, sur chacun des chantiers, a été posé sur une demi-chaussée avec compactage au rouleau vibrant et sur la seconde demi-chaussée avec le même rouleau **sans** utilisation de la vibration. Les essais ont été faits et les échantillons prélevés par carottage sur deux chantiers distincts, dans deux régions distinctes, en Argovie, puis en Valais.

Les impératifs du travail sur le chantier ont souvent entraîné une importante dispersion des résultats de mesure.

Un certain nombre d'enseignements se sont toutefois dégagés de ce travail de recherche : l'utilisation de la vibration lors du compactage de l'enrobé exerce une influence :

1. **sur les caractéristiques géométriques du revêtement**
   L'uni et la planéité présentent des défauts accrus sur les planches d'essai compactées avec la vibration, cette dernière semble accentuer les faiblesses ou les défauts préexistants.

   Le contrôle de la rugosité de surface a également décelé des différences significatives : l'utilisation de la vibration a tendance à diminuer la macrorugosité et à fermer la surface du revêtement.

2. **sur les caractéristiques physiques du revêtement**
   Les revêtements vibrés présentaient généralement une compacité supérieure à ceux compactés au rouleau statique, ce que l'on savait déjà. L'étude a toutefois révélé qu'à l'intérieur de la même couche d'enrobé, la compacité varie selon que l'on se trouve au centre de la couche ou proche de la surface et cette compacité a tendance à être plus élevée dans le bas de la carotte que dans la moitié supérieure de celle-ci.

   Les essais ont aussi montré distinctement que l'utilisation de la vibration augmente dans de fortes proportions le nombre de granulats fendus ou écrasés dans l'épaisseur de la couche.

Aucune différence significative n'a toutefois été relevée en ce qui concerne une remontée éventuelle du liant ou du mortier à la surface du revêtement.

3. **sur les caractéristiques mécaniques du revêtement**
   Un essai à l'effort tranchant a décelé une tendance à la diminution d'adhérence entre la couche nouvellement posée et sa couche de support lorsque le compactage faisait intervenir la vibration. Un quelconque effet de "décompactage" n'a toutefois pas été remarqué.

   Les essais à la fatigue au "Pulsator" ont apporté quelques enseignements intéressants. Si les essais à la compression uniaxiale à +50° n'ont pas permis de différencier nettement les effets des deux modes de compactage, les essais à la fatigue par traction à -10°C ont montré que le comportement du revêtement compacté **sans** vibration était bien meilleur que celui compacté avec vibration : la résistance aux déformations est plus élevée et la rupture intervient bien plus tard, après un plus grand nombre de cycles de chargements.

Recommandations

Les enseignements de ce travail de recherche ont été regroupés à la fin du rapport sous forme de "Recommandations" à l'usage du praticien.

Aïre, le 22 août 1995 Dor/mdb

KURZFASSUNG

Zielsetzung dieser Forschungsarbeit war die Beobachtung und die Quantifizierung des Einflusses der Vibration beim Verdichten von bituminösem Mischgut mittels Vibrationswalzen.

Die verschiedenen Parameter wurden auf ein Minimum eingeschränkt, und die Forschung bezieht sich lediglich auf eine 4 cm dicke Deckschicht. Auf jeder Baustelle wurde das Mischgut mit einer Tandemwalze verdichtet und zwar mit eingeschalteter Vibration auf einer halben Strassenbreite, ohne Vibration auf der andern Strassenhälfte.

Die Messungen wurden an Bohrkerne aus jeweils zwei verschiedenen Versuchsbaustellen vorgenommen, welche in zwei verschiedenen Landesteilen, Aargau und Wallis, lagen.

Die Arbeitsbedingungen auf der Baustelle hatten leider eine grosse Streuung der Messwerte zur Folge.

Einige deutliche Schlüsse konnten trotzdem gezogen werden. Bei der Verdichtung mit Vibrowalze konnte der Einfluss der Vibration auf folgende Eigenschaften nachgewiesen werden :

1. **auf die geometrischen Eigenschaften des Belages**

Bei der Längs- sowie bei der Querebenheit wurde festgestellt, dass Einbaufehler in der vibrierten Deckschicht eher verstärkt werden : die Vibration scheint Fehler oder Lücken im Belag zu verstärken.

Auch bei den Rauhigkeitsmessungen wurden deutliche Unterschiede zwischen statischer und Vibrationsverdichtung festgestellt : letztere hat eine Verringerung der Makrorauhigkeit und eine geschlossenere Oberfläche des Belages zur Folge.

2. auf die physikalischen Eigenschaften des Belages

Im allgemeinen bestätigen die Messungen, dass die vibrierten Beläge eine höhere Rohdichte aufweisen als diejenigen, welche mit der Tandemwalze ohne Vibration verdichtet wurden. Die Messungen zeigten ferner, dass die Rohdichte nicht konstant innerhalb eines gleichen Bohrkernes bleibt, sie neigt in der unteren Schichthälfte höher als in der oberen Hälfte zu sein.

Es konnte auch nachgewiesen werden, dass die Schaltung der Vibration eine deutliche Erhöhung der Anzahl gespaltener und zertrümmerter Körner zur Folge hatte.

Ein eventueller Bindemittel- bzw. Mörtelaufstieg konnte hingegen nicht festgestellt werden.

3. auf die mechanischen Eigenschaften des Belages

Die Bestimmung der Scherfestigkeit im Verbund Deckschickt/Tragschicht brachte den Beweis, dass die Scherfestigkeit abnimmt wenn bei der Verdichtung die Vibration eingeschaltet wird. Eine jeweilige "Abverdichtung" wurde hingegen nicht festgestellt.

Die dynamischen Versuche mit dem "Pulsator" Gerät führten zu interessanten Feststellungen. Bei dem Druckschwellversuch bei + 50°C konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen vibriertem und statisch verdichtetem Belag beobachtet werden. Beim Biegezugschwellversuch bei -10°C hingegen konnte das Verhalten der statisch verdichteten Beläge als deutlich besser beobachtet werden : das plastische Verhalten im tragfähigen Bereich ist besser und der Bruch erfolgt wesentlich später (nach einer höheren Anzahl Lastwechsel).

Empfehlungen

Die Schlüsse dieser Forschungsarbeit wurden am Ende des Berichtes in Form von "Empfehlungen für den Praktiker" zusammengestellt.

Aïre, 22. August 1995 Dor/mdb

1. INTRODUCTION

Dans le domaine des revêtements bitumineux, les années 70 ont vu l'apparition et la propagation de rouleaux compacteurs disposant d'un système de vibration.

Certaines entreprises les utilisèrent aussitôt à grande échelle, tirant profit de l'énergie de vibration pour diminuer le nombre de passes lors du compactage. D'autres furent réticentes, préférant la sûreté du rouleau statique. A la suite de quelques déboires de chantier, certains maîtres d'ouvrages interdirent l'utilisation de la vibration pour les couches de surface. Experts et contre-experts s'affrontèrent souvent, favorables ou opposés à la vibration.

C'est pourquoi le Comité de la VESTRA, groupe professionnel de la Société Suisse des Entrepreneurs, qui réunit les entreprises suisses de construction de routes, présenta à la Commission Fédérale de Recherches en matière de routes une demande de crédit pour étudier l'effet de la vibration.

2. PLAN D'EXPÉRIENCE

2.1. Méthodologie de l'étude

Le but de cette étude étant d'observer et de quantifier l'influence de la vibration lors du compactage d'enrobés bitumineux à l'aide d'un rouleau vibrant, on s'est attaché à étudier l'effet final de l'utilisation de la vibration, en comparant deux séries d'échantillons prélevés sur la même planche d'essai d'un même chantier, la totalité de la planche d'essai ayant été compactée au rouleau vibrant, mais sans utilisation de la vibration pour une moitié et avec enclenchement de la vibration pour la seconde moitié.

Après transport des échantillons au laboratoire, on a étudié leurs caractéristiques géométriques (orientation des grains des granulats, uni, rugosité), physiques (compacité, teneur en vides, répartition des granulats), et mécaniques (essais de fatigue). Pour chaque essai, et à chaque étape, on a comparé les résultats des essais sur les deux populations d'échantillons, compactées avec vibration et sans vibration.

2.2. Nomenclature des essais

Essais sur le site pendant la mise en place de l'enrobé :

a) Prélèvement de 3 échantillons sur lesquels on a effectué :

- analyse granulométrique complète
- extraction du liant et détermination de ses caractéristiques
- essai Marshall

b) Mesure de la compacité en place au moyen d'un nucléodensimètre

30 points de mesure, répartis de façon uniforme sur les deux planches d'essai selon la figure 1. Cette mesure de compacité avait pour unique but de s'assurer que les deux zones, avec et sans vibration, avaient atteint le même degré de compactage.

Essais sur le site après refroidissement du revêtement :

c) Mesure de l'uni longitudinal (planéité)

Appareillage : enregistreur de changement de pente ISETH
Appartenant à l'IVT de l'EPFZ, cet appareil permet de déterminer l'écart-type des variations angulaires W de la pente longitudinale

d) Mesure de la planéité transversale

Appareillage : enregistreur de profil en travers par la méthode des moirés.
Cet appareillage a été mis au point par l'IMAC (Institut de Mesure et Analyse des Contraintes, Prof. L. PFLUG) de l'EPFL, il est monté sur un véhicule qui circule à 20 km/heure

e) Mesure de rugosité au pendule SRT

On a effectué 9 mesures ponctuelles sur chaque sens de circulation, soit 2 séries de 9 mesures.

f) Mesure de rugosité au skiddometer

L'appareillage, appartenant à l'IVT de l'ISETH, a effectué une série de mesures en continu dans le sens de la circulation, puis dans le sens contraire à la circulation, et ceci dans les conditions ci-dessous :

- avec roue bloquée
- avec roue freinée
- à 40 km/heure
- à 60 km/heure

ce qui donne un total de 16 passages, à chaque fois à 2.00 mètres du bord de chaussée (axe de la voie de circulation)

g) Mesure de rugosité par la méthode de la profondeur de sable

La méthode consiste à remplir les cavités superficielles par du sable de quartz de granularité limitée 0.16/0.415 mm et à mesurer la quantité correspondant à 1m² de surface de revêtement.

Prélèvement de carottes et essais en laboratoire :

Sur chacune des deux planches d'essai (compactées respectivement avec et sans vibration), on a prélevé 24 carottes de 150 mm de diamètre et 12 carottes de 100 mm, réparties de façon régulière selon le schéma de la fig. 6 et de la fig. 12.

Ces carottes ont été réparties entre les trois laboratoires participant à l'expérience et ont été soumises à divers essais en vue de déterminer les caractéristiques suivantes :

h) Homogénéité du compactage

Afin de déterminer l'effet de la vibration, on a mesuré la compacité sur carottes et comparé :

- les valeurs moyennes et les écarts-types des compacités mesurées sur carottes avec celles mesurées au nucléodensimètre
- la répartition des valeurs mesurées en fonction de leur emplacement dans le profil en travers
- le degré de compactage et la teneur en vides de la moitié supérieure avec ceux de la moitié inférieure de la couche d'enrobés compactée

i) Degré d'écrasement des grains

On a dénombré les grains fendus ou écrasés par l'effet de la vibration, par la méthode proposée par Chr. Angst, Dr. en sciences techniques, dans le rapport de recherche no 24/78 de juillet 1982 de la VSS (page 33).

Ce comptage se fait par examen visuel (et photographique) dans deux plans de l'espace :

- sur la section d'une carotte de 150 mm qui a été sciée selon son diamètre
- sur la surface supérieure d'une carotte de 100 mm, qui a été au préalable décapée au jet de sable

j) Orientation des grains

Cet essai consiste en un examen visuel des sections de carottes sciées en deux et comptage des grains dont l'orientation systématique semble due à des facteurs extérieurs (méthode utilisée par l'entreprise STUAG, avec l'aide d'un quadrillage géométrique de la section à étudier), et se pratique sur des macrophotographies.

k) Remontées de mortier

3 carottes de chacune des planches d'essai (avec et sans vibration) ont été sciées horizontalement en deux parties, et ces deux parties ont fait l'objet d'une analyse granulométrique qui devait permettre de comparer la proportion d'éléments fins (mortier) entre la zone vibrée et la zone compactéee sans vibration.

Les carottes en question étant détruites lors de cet essai, chacune d'entre elles a été observée et photographiée au préalable.

l) Adhérence avec la couche sous-jacente

Dans le but de déceler des différences de comportement lors du compactage avec ou sans vibration, on a tenté de quantifier le degré d'adhérence des revêtements avec la couche de support en place. Après l'examen visuel sur 2 séries de 12 carottes, on a soumis 5 carottes de 100 mm à un essai de cisaillement horizontal.

m) Essais de fatigue

Les résultats de l'essai Marshall sur carottes n'étant pas significatifs car l'épaisseur de la carotte n'est que de 4 cm, on a utilisé les essais de fatigue au "Pulsator", du laboratoire Walo Bertschinger SA à Zürich : l'essai à la compression simple avec cycle chargement/déchargement, puis l'essai à la flexion simple avec cycle chargement /déchargement et enregistrement dans les deux essais de la déformation permanente.

n) Fissuration de la couche de support sous-jacente.

Afin de déterminer l'effet éventuel de la vibration sur la couche de support mise en place au préalable, on a :

- examiné et photographié les carottes prélevées sur la couche de support
- soumis les carottes prélevées sur cette couche de support aux essais de fatigue à la compression et à la flexion décrits au paragraphe (m).

2.3. Numérotation des carottes

Chaque planche d'essai était constituée d'un tronçon de route à 2 voies de circulation. Le revêtement bitumeux a été posé par 2 finisseuses avançant en parallèle et compacté au moyen de rouleaux tandem vibrants. Sur une demi-chaussée, le revêtement a été compacté **sans** enclenchement de la vibration, sur l'autre demi-chaussée **avec** enclenchement de la vibration. Les carottes prélevées sur la zone sans vibration ont été repérées par un **S** (statique) et celles provenant de la zone compactée avec vibration par la lettre **V** (vibration)).

Sur chaque planche d'essai, on a défini 18 profils équidistants entre eux, numérotés de 1 à 18. Chaque carotte de 150 mm reçoit ainsi un numéro correspondant au profil où elle a été prélevée. Les carottes dont le numéro est supérieur à 18 ont été prélevées entre deux profils (voir le plan)

Le tableau ci-dessous résume le **plan de carottage :**

Demi chaussée compactée	Nombre de carottes	Numérotation des carottes
avec vibration	24 carottes Ø 150 mm	V 1 à V 24
	12 carottes Ø 100 mm	V 25 à V 36
sans vibration	24 carottes Ø 150 mm	S 1 à S 24
	12 carottes Ø 100 mm	S 25 à S 36

Les figures 6 et 12 présentent le plan de situation des carottes prélevées sur une planche d'essai.

2.4. Répartition des carottes et des essais

Les essais en laboratoire sur carottes ont été répartis en 4 groupes :

1er groupe :

pour les carottes V4 à V15 (avec vibration)

pour les carottes S4 à S15 (sans vibration

Ont été effectués les essais et opérations suivants :

a) photographier l'échantillon

b) détermination de la rugosité de surface (méthode de la tache de sable)

c) examen visuel du support sous la couche de surface

d) examen visuel de l'adhérence entre couche de surface et couche de support

e) comptage sur le pourtour de la carotte (couche de surface + couche de support) des grains fendus ou écrasés

f) détermination de la masse volumique de la couche de surface

g) scier la couche de surface en deux selon un plan horizontal : les deux disques obtenus sont repérés par **o** (oben) et **u** (unten), puis :

- mesure de la masse volumique apparente de chacun des disques
- examen visuel pour rechercher une éventuelle migration de mortier entre les deux moitiés

h) détermination de la masse volumique de la teneur en liant et de la courbe granulométrique des groupes de carottes suivants (le regroupement de 4 échantillons permet de travailleur sur une plus grande quantité)

- moitiés supérieures de V6, V7, V12, V13 = 1 échantillon
- moitiés inférieures de V6, V7, V12, V13 = 1 échantillon
- moitiés supérieures de V5, V8, V11, V14 = 1 échantillon
- moitiés inférieures de V5, V8, V11, V14 = 1 échantillon
- moitiés supérieures de V4, V9, V10, V15 = 1 échantillon
- moitiés inférieures de V4, V9, V10, V15 = 1 échantillon
- moitiés supérieures de S6, S7, S12, S13 = 1 échantillon
- moitiés inférieures de S6, S7, S12, S13 = 1 échantillon
- moitiés supérieures de S5, S8, S11, S14 = 1 échantillon
- moitiés inférieures de S5, S8, S11, S14 = 1 échantillon
- moitiés supérieures de S4, S9, S10, S15 = 1 échantillon
- moitiés inférieures de S4, S9, S10, S15 = 1 échantillon

2e groupe :

pour les carottes V19 à V24 (avec vibration)

pour les carottes S19 à S24 (sans vibration)

i) détacher la couche de surface de son support et en mesurer la masse spécifique apparente

k) essais de fatigue au "Pulsator"

sur la couche de surface :

- essai de fatigue par flexion à	- 10°C :	3 carottes
- essai de fatigue par compression à	+ 40°C :	3 carottes

sur la couche de support :

- essai de fatigue par flexion à	- 10°C :	3 carottes
- essai de fatigue par compression à	+ 40°C :	3 carottes

3e groupe :

pour les carottes V25 à V36 (avec vibration)

pour les carottes S25 à S36 (sans vibration)

Les échantillons de ce groupe ont fait l'objet des essais suivants :

l) sablage de la surface supérieure puis photographie de cette surface et comptage des granulats fendus ou éclatés

m) détermination de l'adhérence entre les 2 couches de la carotte sur 6 carottes de la série V (avec vibration) et 6 carottes de la série S (sans vibration)

n) séparation des 40 mm supérieurs de la souche de surface, puis des 60 mm supérieurs de la couche de support sur 6 carottes de la série V et 6 carottes de la série S, puis écrasement de ces éprouvettes à la presse Marshall à 60°C selon le mode opératoire de l'essai Marshall.

4e groupe :

pour les carottes V1, V3, V16, V18 (avec vibration)

pour les carottes S1, S3, S16, S18 (sans vibration)

o) détacher la couche de surface de son support et en mesurer la masse spécifique apparente

p) sciage en deux de la carotte selon un plan vertical, photographier les sections ainsi coupées et relever l'orientation des granulats avec l'aide d'un quadrillage de référence.

2.5. Laboratoires participant aux essais

Essais sur le site :
Mesure d'uni et de rugosité au skiddometer :
EPFZ, institut IVT, Zürich

Mesure de la planéité transversale par la méthode des moirés :
EPFL, institut IMAC, Lausanne

Caractéristiques de surface au pendule SRT et profondeur au sable
EPFL, laboratoire LAVOC Lausanne (pour le chantier de Sion)

Essais sur carottes :
Groupes d'échantillons 1,3 et 4 :
Laboratoire Technotest, Bern-Liebefeld

Groupe d'échantillon No 2
Laboratoire Walo Bertschinger AG, Schlieren ZH

Coordination :
Jean Dormenval, ing. EPFZ, Laboratoire Zschokke SA, Genève

3. CHOIX DES PLANCHES D'ESSAI

3.1. Difficultés du choix

Le mandat de recherche a été accordé par l'Office Fédéral des Routes en Avril 1987. Les 3 laboratoires d'entreprise concernés ont alors établi le catalogue des essais à faire, le cahier des charges de chacun des partenaires et la liste des conditions que devait remplir le chantier choisi comme planche d'essai.

Dès juin 1987, les trois partenaires se mirent à la recherche d'un chantier représentatif et de taille suffisante : longueur minimale : 500 mètres, deux voies de circulation pouvant être posées en parallèle, etc.

La nécessité de ne faire varier qu'un seul paramètre à la fois imposait de garder constants tous les autres et les exigences étaient nombreuses :

- pas d'arrêt de la finisseuse pendant la pose de la planche d'essai
- laisser au minimum 50 mètre en amont et 50 mètres en aval de la planche d'essai pour permettre à la finisseuse de se stabiliser et aux compacteurs une course suffisante
- choisir une structure et des épaisseurs de couche constantes
- même composition granulométrique et teneur en liant de la couche de surface sur tous les chantiers

Dans un but de simplification, on choisit également de se limiter à la couche de surface pour les essais. Seul l'examen visuel de l'écrasement éventuel des granulats serait effectué sur la couche de support.

Malgré de nombreuses interventions auprès des ingénieurs cantonaux et de ceux des Bureaux des Autoroutes au cours de l'année 1987, nous n'avons pas pu obtenir de réaliser nos essais sur un tronçon d'autoroute. La raison en était simple : aucun responsable n'acceptait de transformer un tronçon de 500 mètres d'autoroute en gruyère, notre projet prévoyant le prélèvement de 72 carottes pour les deux voies de circulation, sans compter les essais in situ.

De surcroît, la nécessité d'éviter tout arrêt de la finisseuse lors de la pose imposait le choix d'un chantier de chaussée neuve, c'est-à-dire libéré des contraintes de la circulation automobile.

Au cours de l'hiver 1987-1988, le Département des Travaux Publics d'Argovie nous autorisa enfin à procéder aux essais sur un tronçon de route cantonale.

3.2. Tronçon d'essai RC 131 Koblenz-Zurzach (Argovie)

3.2.1. Planche d'essai

La route de contournement de la ville de Koblenz a été revêtue au printemps 1988 de la couche de support, puis des couches de liaison et de surface en juin de la même année.

Nous avons retenu un tronçon presque rectiligne d'environ 770 mètres, dont la fig. 1 donne les caractéristiques.

Une condition a toutefois été posée par le maître de l'ouvrage : nous pouvions prélever nos carottes sur la **couche de liaison**, mais non sur la couche de surface, cette dernière aurait présenté un aspect esthétique déplorable après le remplissage des cavités de carottage !

La fig. 2 indique les épaisseurs des différentes couches du revêtement. La totalité des essais a porté sur la couche de liaison en TA 16 U.

Fig. 1

Tronçon d'esssai Koblenz-Zurzach
Plan de situation

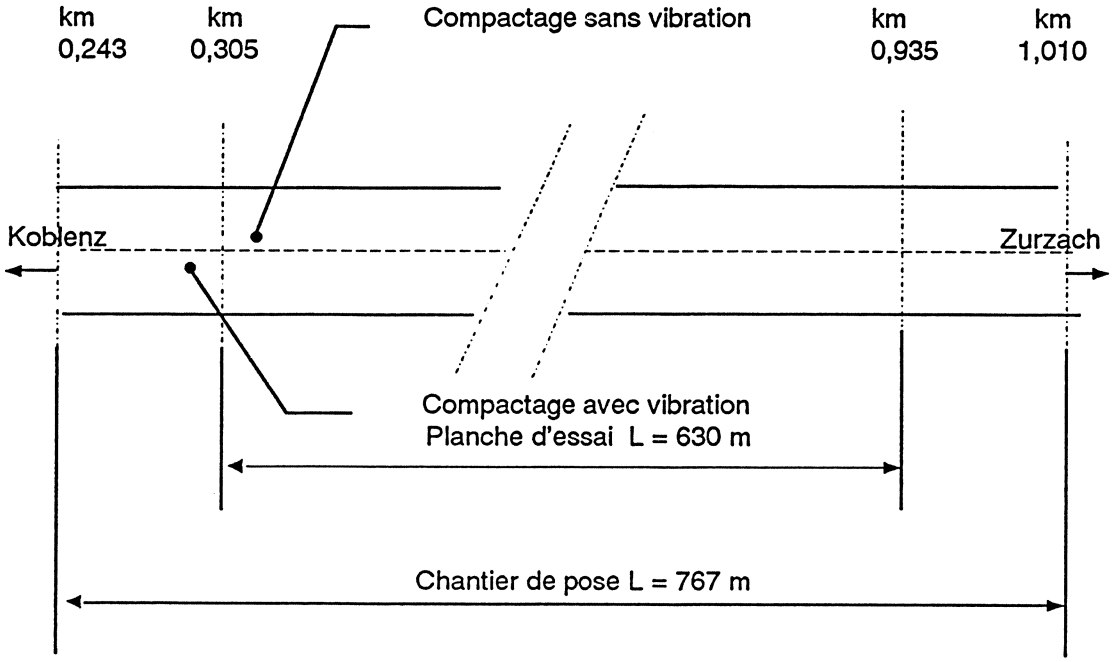
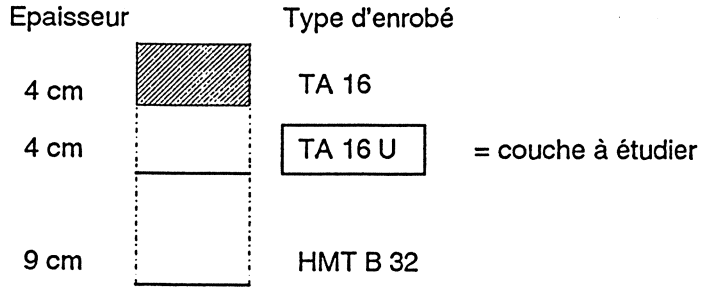


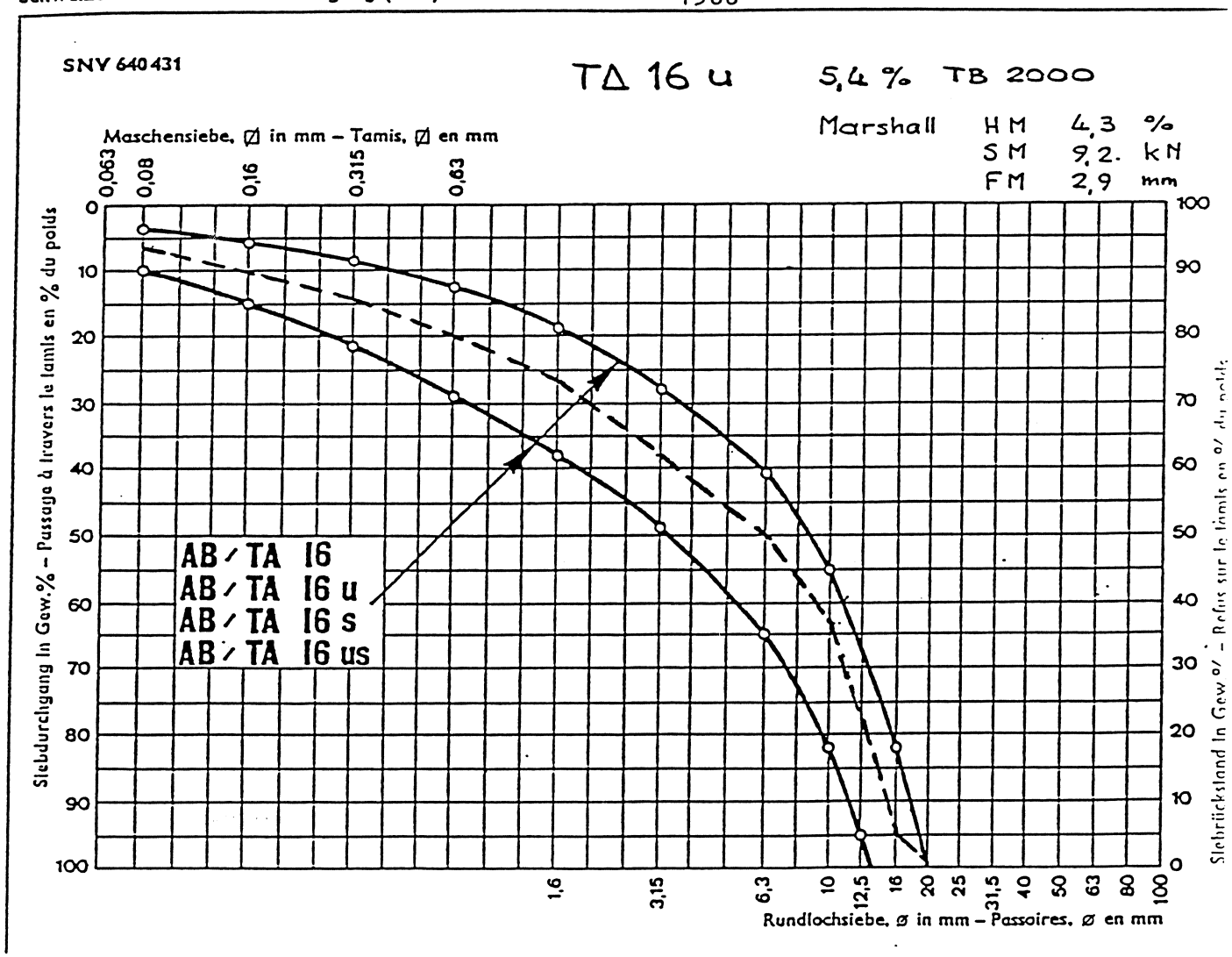
Fig. 2



COUPE DE LA SUPERSTRUCTURE

La fig. 3 indique la composition granulométrique ainsi que les valeurs caractéristiques de l'enrobé : teneur en liant et valeurs Marshall.

Fig. 3 Chantier de Koblenz
Composition granulométrique TA 16 U



Dans le tableau 4 sont reportées toutes les informations sur l'atelier de mise en oeuvre et de compactage.

Fig. 4

ATELIER DE MISE EN OEUVRE
Planche d'essai de Koblenz (AG)

CHANTIER	largeur chaussée : 7.25 m longueur tronçons : 767.25 m surface : 5562 m² épaisseur revêtement : 4 cm tonnage théorique : 534 tonnes type d'enrobé : TA 16 U
FINISSEUSES	2 finisseuses en parallèle largeur de pose : 3.65 m sens de pose : de Zurzach vers Koblenz vitesse de pose : 100 m/h. soit 1,66 m/min. pose à vis calées (épaisseur constante)
COMPACTEURS	2 compacteurs : 1 rouleau tandem BOMAG 160 de 8 tonnes devant 1 rouleau trijante AMMAN S 12.5 tonnes derrière *N.B.* Le BOMAG roulait avec la vibration enclenchée sur 1/2 chaussée, sans vibration sur l'autre 1/2 chaussée

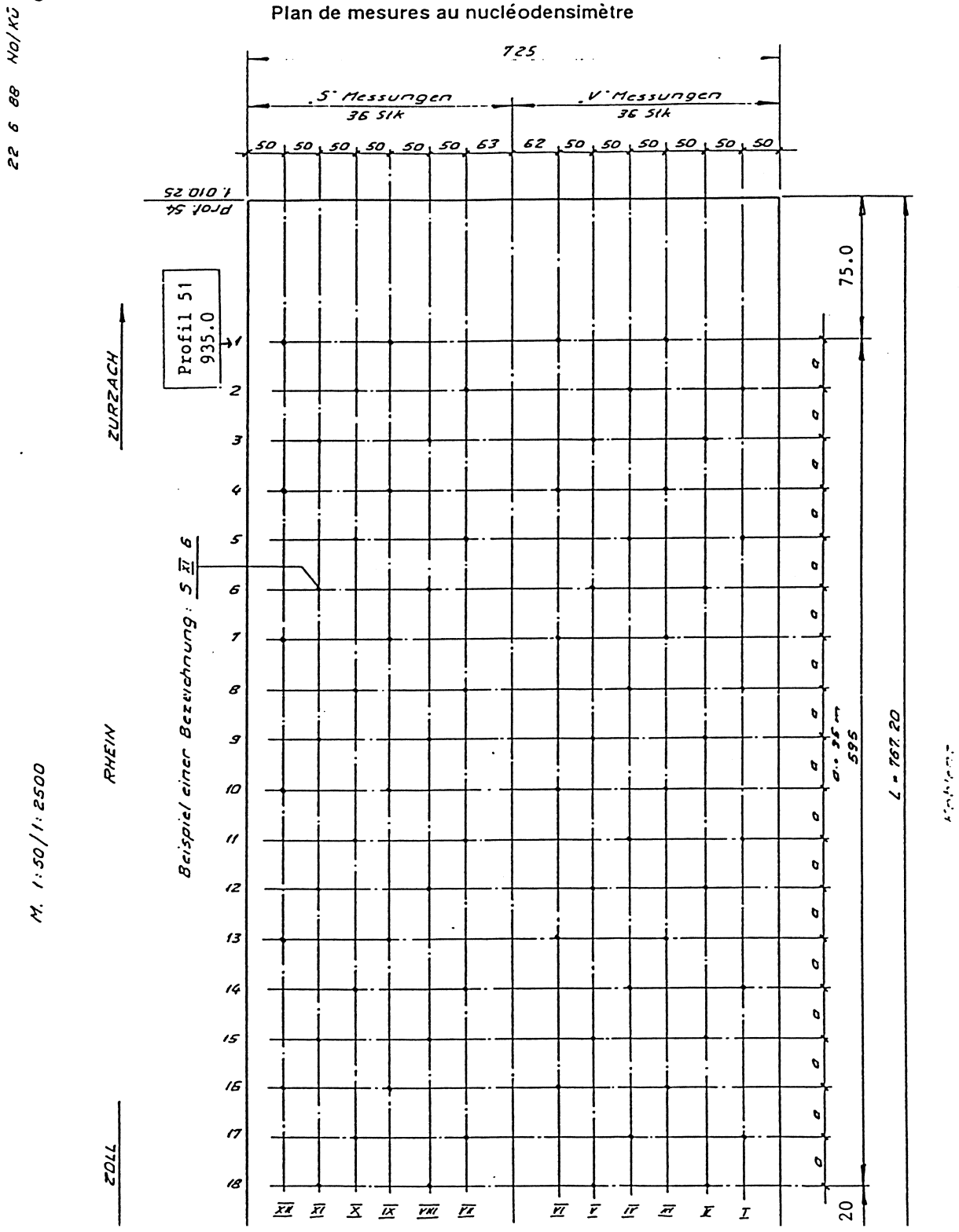
3.2.2. *Plan d'essais*

Pendant la pose du revêtement, on a mesuré la compacité de l'enrobé en place derrière le compacteur. Cette mesure avait deux buts distincts : contrôler la compacité in situ à des fins statistiques, d'une part, déterminer le moment où le rouleau vibrant avait permis d'atteindre la même compacité que sur la demi-chaussée sans vibration, d'autre part.

La fig. 5 représente l'emplacement des points de mesure au nucléodensimètre.

Fig.5

Plan de mesures au nucléodensimètre



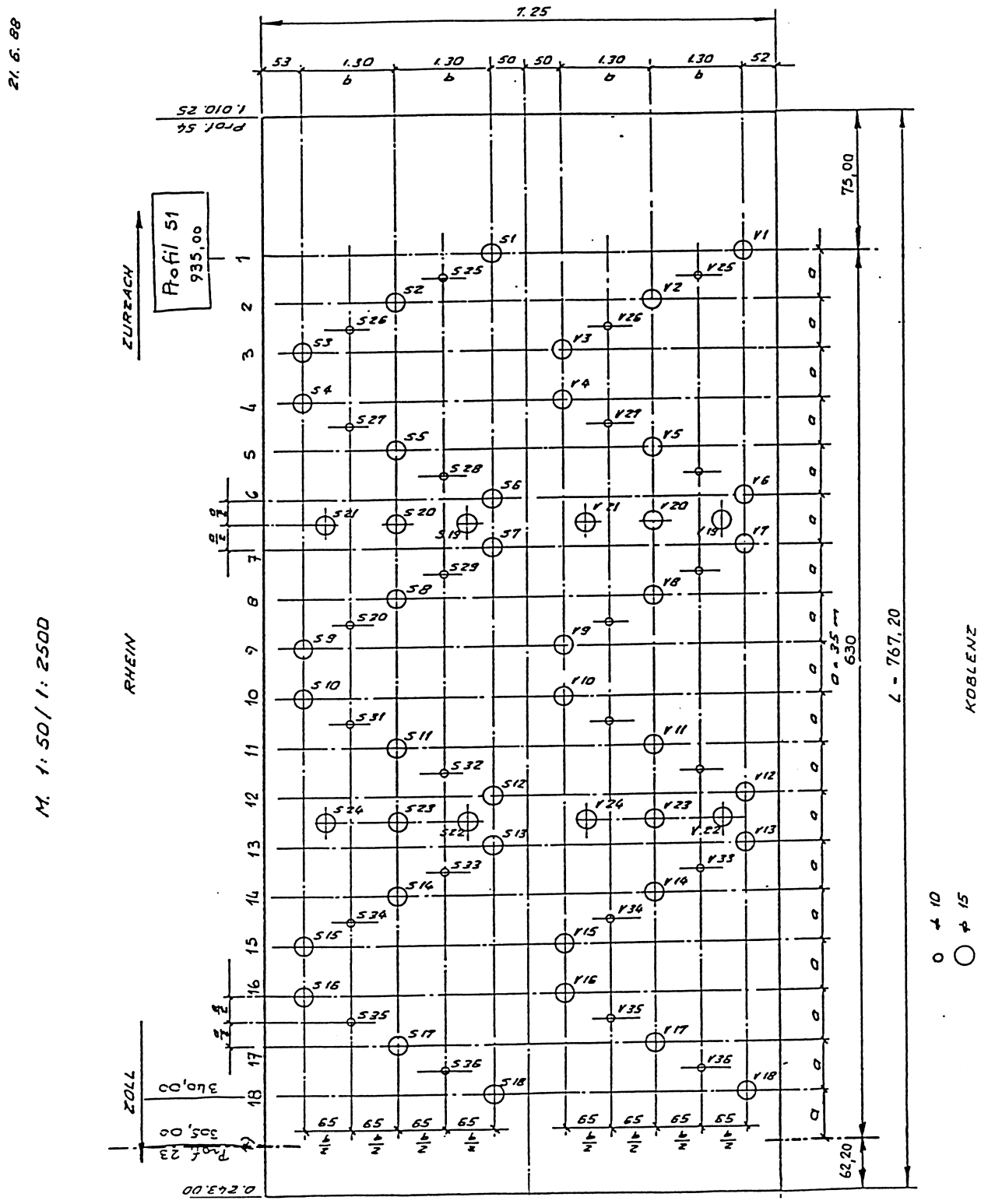
Après refroidissement du revêtement, on a prélevé les 72 carottes destinées aux essais en laboratoire.

Les résultats des mesures ont été regroupés et présentés aux chapitres 4 et 5.

La fig. 6 représente le plan de carottage. la numérotation des carottes devant respecter les conditions énumérées au paragraphe 2.3.

Fig. 6

Plan de prélèvement des carottes



3.3. Tronçon d'essai N.9 Sion (Valais)

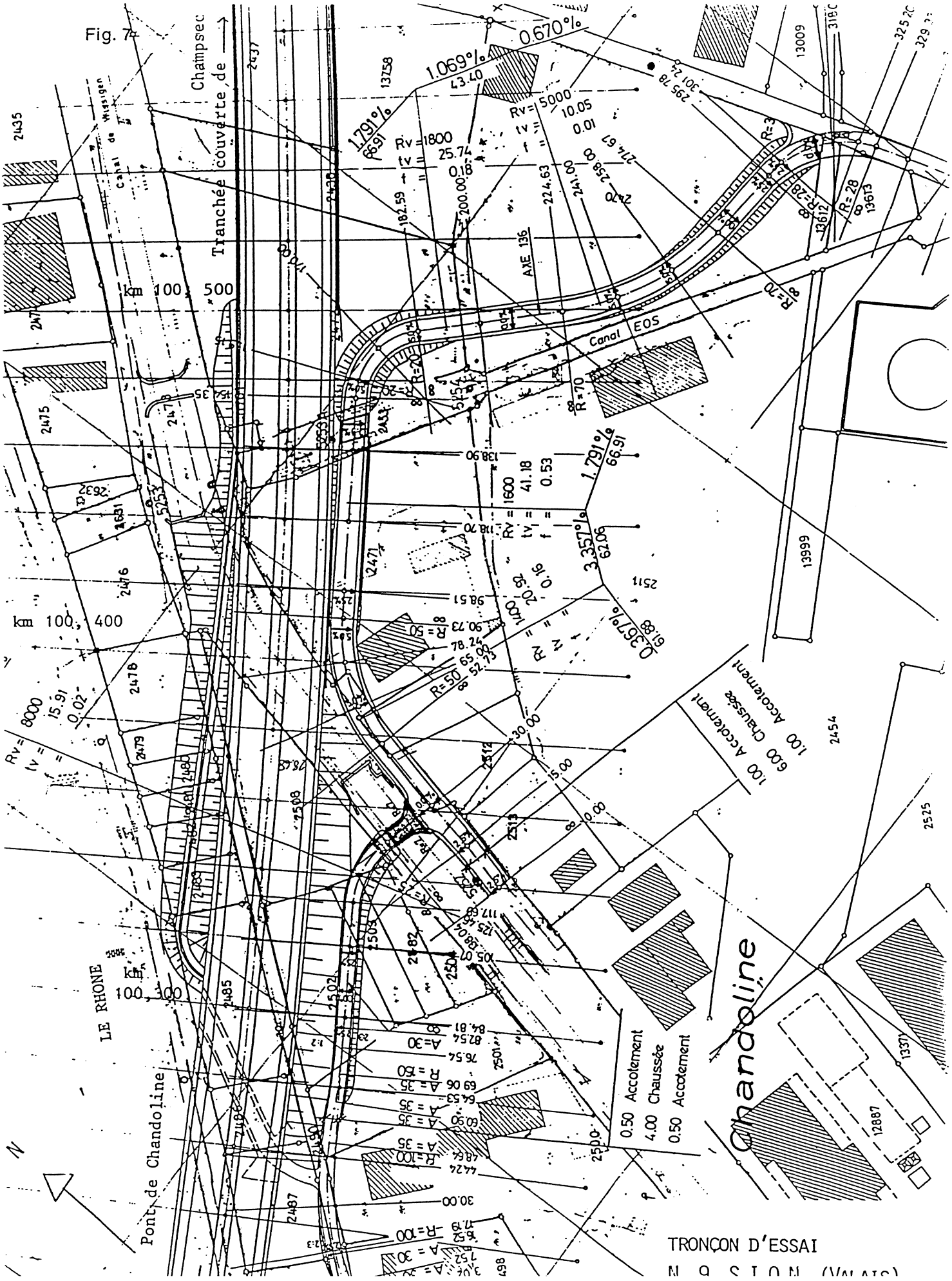
3.3.1. Planche d'essai

En août 1991, le Service des Routes nationales du Valais a donné son accord pour qu'une campagne d'essais soit réalisée sur la N. 9 en construction sur le contournement de Sion.

En septembre toutefois, le maître de l'ouvrage revient sur son accord et nous demanda d'effectuer la campagne d'essais sur la route de débord des Fournaises (quartier de Chandolin), de crainte de fragiliser le revêtement de l'autoroute par notre campagne de carottage.

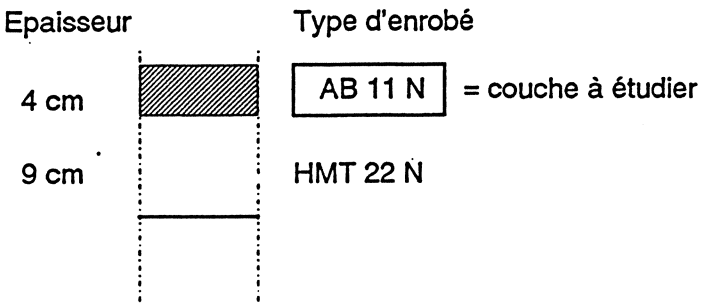
Le tronçon disponible ayant une longueur de 340 mètres, nous avons délimité une planche d'essai de 300 mètres de longueur, l'équidistance entre les profils étant ramenée à 15 mètres. La fig. 7 donne le plan de situation du tronçon d'essai.

Fig. 7


Champsec
Tranchée couverte de
km 100, 500
km 100, 400
km 100, 300
LE RHONE
Pont de Chandoline
Canal EOS
AXE 136
0.670%
1.069%
1.791%
3.357%
0.367%
Rv = 5000
Rv = 1800
Rv = 1600
Rv = 8000
0.50 Accotement
4.00 Chaussée
0.50 Accotement
1.00 Accotement
6.00 Chaussée
1.00 Accotement
Chandoline
TRONÇON D'ESSAI

La fig.8 indique les épaisseurs des différentes couches du revêtement. La totalité des essais a porté sur la couche de surface en AB 11 N.

Fig. 8



COUPE DE LA SUPERSTRUCTURE

La fig. 9 indique la composition granulométrique ainsi que les valeurs caractéristiques de l'enrobé : teneur en liant et valeurs Marschall.

Fig. 9

Laboratoire
de la construction
ZSCHOKKE
Société Anonyme Conrad Zschokke
Ch. Isaac Anken 8
CH - 1219 Aïre
Tél. 022 / 797 32 46
Fax 022 / 797 42 29

	AB 11 N chantier de S I O N	Date : 1992 Nbre de page(s) : 1

Contrôle des bétons bitumineux — Procès-verbal N°

liant : B 80/100
ajouts :

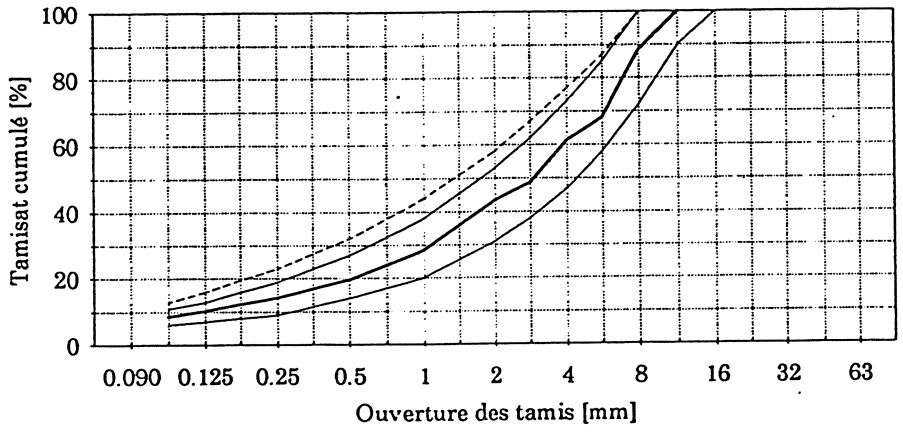
prélèvement, heure : 10 h
lieu : Bourgeoisie de Sion
température : 148 °C

date : 22.3.1990
par : M. Perissutti
réception :

Teneur liant/enrobé %	: 5.84	Val. nom. %	: 5.6 à 6.2	Module de richesse	: 3.68
Masse vol. app.RM (kg/m³)	: 2393	Densité théor. (kg/m³)	:	Pds spéc. grains (kg/m³)	: 2715
Vide Résid. HM (%v)	: 3.43	Vides comblés HFB(%)	: 79.7	Rapp. filer/bit	: 1.37
Stabilité SM (KN)	: 12.6	Fluage FM (mm)	: 2.5	SM / FM (KN/mm)	: 5.05

Echantillon pous.	.090	.125	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	45
tamisat %	8.5	10.3	14.2	19.7	28.5	43.4	48.7	61.2	68.2	88.6	100.0				

L'incertitude de mesure sur les valeurs en pourcent est de ± 1%



remarques / appréciations : selon SN 640 431 a

Dans le tableau 10 sont reportées toutes les informations sur l'atelier de mise en oeuvre et de compactage.

Fig. 10 **ATELIER DE MISE EN OEUVRE**
Planche d'essai de Sion (VS)

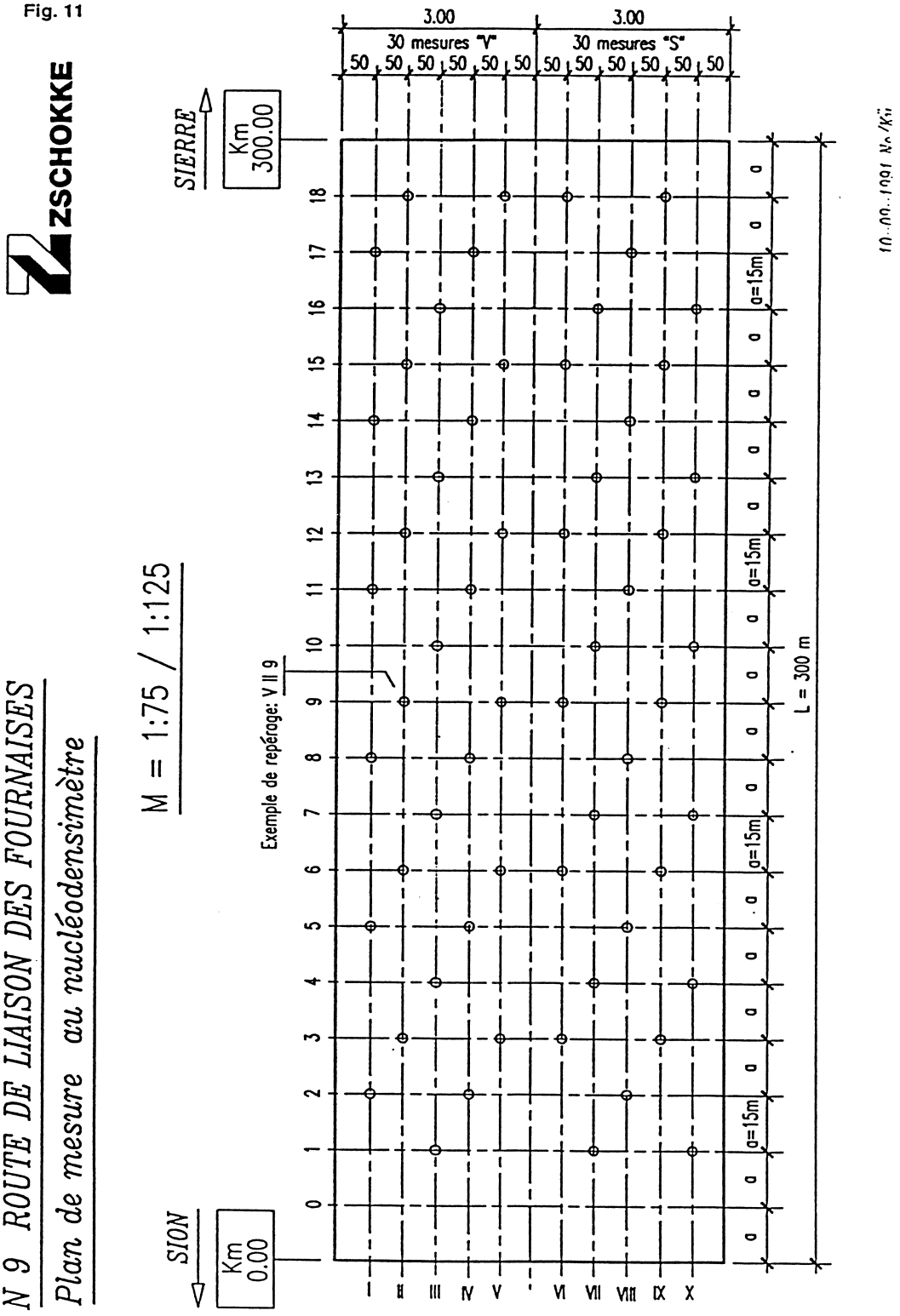
CHANTIER	largeur chaussée : 6.00 m longueur tronçon : 340.00 m surface : 2040 m² épaisseur revêtement : 4 cm tonnage théorique : 196 tonnes type d'enrobé : AB 11 N
FINISSEUSE	DEMAG DF 100 largeur de pose : 3.00 m sens de pose : du profil 340 au profil 0 (d'est vers l'ouest) pose à vis calées (épaisseur constante)
COMPACTEURS	2 rouleaux : 1 compacteur à pneus HAMM GRW18 devant, poids 21 t 1 tandem HAMM, DV 8 vibrant derrière, poids 9 t *N.B.* Le Hamm vibrant a cylindré la 1ère moitié du tronçon sans enclencher la vibration, puis la 2e moitié avec la vibration
TEMPERATURES DE COMPACTAGE	Enrobé derrière finisseuse : 160° C compacteur à pneus : 160° C à 150° C compacteur tandem : 90 à 80° C mesures au nucléodensimètre : 50° C

3.3.2. *Plan d'essais*

Pendant la pose du revêtement, on a mesuré la compacité de l'enrobé en place derrière le compacteur. Cette mesure avait deux buts distincts : contrôler la compacité in situ à des fins statistiques d'une part, déterminer le moment où le rouleau vibrant avait permis d'atteindre la même compacité que sur la demi-chaussée sans vibration, d'autre part.

La fig.11 représente l'emplacement des points de mesure au nucléodensimètre.

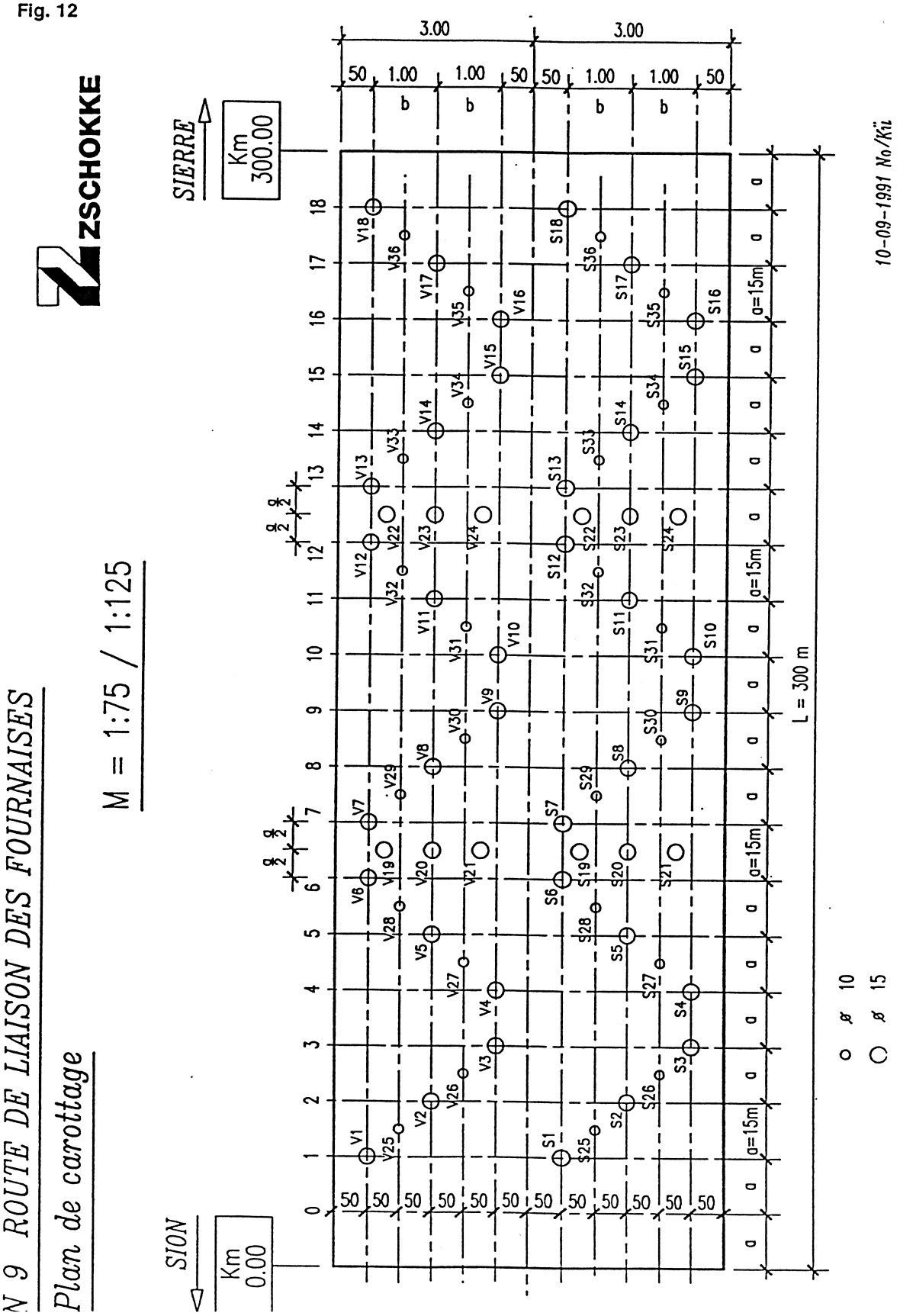
Fig. 11



Après refroidissement du revêtement, on a prélevé les 72 carottes destinées aux essais en laboratoire.

La fig. 12 représente le plan de carottage, la numérotation des carottes devant respecter les conditions énumérées au paragraphe 2.3.

Fig. 12



4. ESSAIS IN SITU ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats ont été regroupés sous forme de tableaux et reproduits ci-après pour les différents essais énumérés du paragraphe 2.2. "Nomenclature des essais", avec leur lettre de référence.

COMPOSITION DE L'ENROBÉ
Analyse du liant
Essai Marshall
Référence : essai (a) page 2

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
Nbre d'échantillons	3	3	3	3
Nature de l'enrobé	TA 16 U	TA 16 U	AB 11 N	AB 11 N
Prélèvement	sur chantier	sur chantier	sur chantier	sur chantier
Analyse granulométr.	annexe A_1	A_2	A_3	A_4
Fines à 0,08 resp.0,09	8,8 %	8,9 %	9,8 %	9,9 %
Teneur en liant	5,26 %	5,44 %	5,80 %	5.83 %
Rapport B/F en vol.	1.63	1.67	-	-
Masse volumique g/cm³	2,483	2,477	2,481	2,480
ESSAI MARSHALL				
Masse vol. apparente	2,380	2,396	2,419	2,420
% vides	4,2 %	3,3 %	2,5 %	2,4 %
% remplissage vides	74,4 %	79,3 %	84,5 %	84,9 %
Stabilité Marshall	8,9 kN	9,5 kN	10,1 kN	9,9 kN
Fluage Marschall	3,2 mm	3,5 mm	3,8 mm	3,7 mm
Rapport SM/FM	2,8	2,7	2,7	2,7

L'enrobé utilisé sur le chantier de Koblenz diffère de celui de Sion sur deux points :

- la nature du liant : bitume-goudron dans un cas, bitume dans l'autre
- la fonction : couche de liaison dans un cas, couche de surface dans l'autre.

Ces différences n'ont toutefois pas d'influence sur l'objet de la recherche : comparaison entre le compactage du même revêtement, avec vibration et sans vibration.

Interprétation des résultats

Sur le chantier de Koblenz, les enrobés prélevés sur les deux planches d'essai sont très proches dans leur composition ; une légère différence relevée sur la teneur en liant n'est pas significative.

Sur le chantier de Sion, les valeurs mesurées sur les deux planches d'essai sont pratiquement égales, compte tenu de la précision des essais.

MESURE DE L'UNI LONGITUDINAL selon SN 640 520 A au moyen de l'enregistreur d'angle ISETH

Ref. : essai (c), page 3

ECARTS-TYPE sW en ‰

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
MOYENNE DES VALEURS (‰)				
Axe de mesure 1	2,02			
(bord chaussée)	1,98			
moyenne :	**1,996**			
Axe de mesure 3	1,84			
(milieu chaussée)	1,60			
moyenne :	**1,699**		pas de mesures	pas de mesures
Axe de mesure 4		2,0		
(milieu chaussée)		1,71		
moyenne :		**1,830**		
Axe de mesure 2		2,19		
(milieu chaussée)		1,94		
moyenne :		**2,041**		
RAPPEL DES VALEURS ADMISS.				
selon SN 640 521 a				
Valeurs de réception :				
Routes VA* < 80 km/h	sW <	2,2		
Routes VA* ≥ 80 km/h	sW <	1,8		
Valeurs limites				
Routes VA* < 80 km/h	sW <	6		
Routes VA* ≥ 80 km/h	sW <	5.5		

* VA = vitesse de base

Emplacement des mesures : voir annexe B1

Valeurs mesurées : voir annexe B2

Mesures effectuées par l'Institut IVT (Prof. K. Dietrich) de l'EPFZ, au moyen de l'appareillage mis au point par ce même institut.

Interprétation des résultats

Les résultats chiffrés représentent l'écart-type "sW" des changements de pente W. On constate tout d'abord que cet écart-type est plus faible sur les axes de mesure 3 et 4, soit dans la zone centrale de la chaussée (sW = 1,699 puis 1,830) que sur les axes de mesure 1 et 2 proches des bords de la chaussée (sW = 1,996 puis 2,041). L'explication doit sans doute être recherchée dans le nombre plus élevé de passages du compacteur au centre que sur les bords du revêtement.

Les valeurs que la norme SN 640 520 a imposées pour la réception des travaux ont été cités à titre de repère, la comparaison des valeurs mesurées avec les valeurs limites sort du cadre de la présente étude.

On peut toutefois constater que les moyennes des écarts-type sW sur le tronçon vibré sont toujours plus élevées (1,830 en milieu de chantier, 2,041 en bordure) que sur le tronçon non vibré (1,699 en milieu de chaussée, 1,996 en bordure).

La dispersion des résultats est également plus grande sur la planche d'essai vibrée que sur celle compactée sans vibration.

MESURE DE LA PLANEITÉ TRANSVERSALE
par la technique des moirés
Ref. : essai (d), page 3

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
PROFONDEUR D'ORNIERE "T"	mm	mm		
Profil 1	2,0	2,9		
4	7,1	14,5		
7	3,6	1,0		
10	7,3	1,6		
13	2,0	1,6	pas de mesures	pas de mesures
16	3,6	3,3		
19	3,9	4,3		
Moyenne :	4,21	4,17		
Ecart-type	2,18	4,70		
PROFONDEUR D'EAU "t"	mm	mm		
Profil 1	0,0	0,0		
4	0,0	0.0		
7	0,0	0,0	pas de mesures	pas de mesures
10	0,0	0,0		
13	0,0	0,0		
16	0,0	0,0		
19	0,0	0,0		

Mesures : effectuées par l'Institut de Mesure et Analyse des Contraintes de l'EPFL (Prof. Pflug) au moyen de son appareillage et de son propre personnel

Interprétation des résultats

Les valeurs mesurées sont ici :

- **la profondeur d'ornière "T"** représentant la profondeur des flaches par rapport à une droite de 4 mètres de longueur, selon la définition de la norme SN 640 520a

- **la profondeur d'eau "t"**, qui est appelée "profondeur des flaches par rapport à l'horizontale" dans la norme déjà citée.

L'examen des résultats de mesure montre pour **la profondeur d'ornière** une dispersion énorme des résultats sur la planche d'essai compactée avec la vibration et une dispersion moindre sur la planche compactée sans vibration.

L'effet de la vibration a donc accusé les inégalités de la planéité : le rouleau statique lourd, qui suit le vibrant, peut corriger un défaut d'uni laissé par un compacteur statique, mais il ne peut plus corriger un défaut dû à un rouleau vibrant.

La profondeur d'eau, de son côté, est inexistante, quel que soit l'emplacement choisi pour la mesure. Cela ne constitue pas une surprise sur un tronçon de route cantonale en dévers de 2,5 %.

MESURE DE RUGOSITÉ AU PENDULE SRT
selon SN 640 510 b
Ref. : essai (e) page 3

Valeurs SRT après correction	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
Profil 1	64.7	65.7	61.3	67.0
3	71.7	74.3	64.3	65.0
5	61.4	70.8	68.3	61.3
7	66.8	67.8	66.3	62.0
moyenne :	**66.2**	**69.7**		
Profil 9	67.8	58.1	61.3	58.3
11	63.3	61.6	62.7	64.3
13	61.1	67.8	61.0	63.3
15	63.1	68.1	61.7	60.3
17	64.4	61.1	62.7	63.0
18			65.7	64.7
moyenne :	**63.9**	**63.7**	**63.5**	**62.9**
moyenne corrigée	64.9	66.1	64.0	64.8
écart-type	3.37	5.11	2.51	2.54

Les mesures ont été effectuées par les instituts suivants de l'Ecole Polytechnique fédérale :

- l'IVT de Zurich pour le chantier de Koblenz
- le LAVOC de Lausanne pour le chantier de Sion

Remarque :

*à **Koblenz*** le tronçon d'essai a été partagé en deux moitiés pour tenir compte de l'aspect de surface plus fermé entre les profils 0 et 8. Les mesures montrent que la rugosité de cette zone est légèrement moindre qu'entre les profils 9 à 17.

*à **Sion*** il n'a pas été constaté de différences d'aspect notables.

Interprétation des résultats

Sur le chantier de ***Koblenz***, la dispersion des valeurs de mesure est telle qu'on ne peut tirer des conclusions profil par profil. Cette dispersion est d'ailleurs plus marquée sur la zone vibrée.

Si l'on raisonne sur les moyennes des résultats, la planche d'essai compactée avec la vibration présente une valeur SRT légèrement plus élevée que celle de la planche d'essai compactée **sans** vibration. La remarque s'applique aussi bien pour la zone des profils 1 à 7 qu'à la zone des profils 9 à 18.

Une valeur SRT plus élevée signifie que la surface du revêtement est moins rugueuse, donc que la vibration a tendance à niveler les aspérités et à fermer la surface du revêtement.

Sur le chantier de ***Sion***, la dispersion des résultats est moindre et les écarts entre les valeurs de mesure sur la zone vibrée et sur la zone non vibrée sont du même ordre que la précision des mesures.

Seule la correction apportée aux chiffres pour tenir compte de la température permet de dégager un très léger avantage en valeur du compactage sans vibration, la différence reste toutefois peu significative.

MESURE DE RUGOSITÉ AU SKIDDOMETER
selon SN 640 510 b
Ref. : essai (f) page 3

Coeffic. de frottement μ (moyenne des 2 sens)	KOBLENZ (AG) mesures à 40 km/h		KOBLENZ (AG) mesures à 60 km/h	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
avec roue bloquée				
Profils 1 à 8	0.68	0.68	0.50	0.47
Profils 8 à 18	0.70	0.68	0.50	0.49
Profils 1 à 18	0.69	0.68	0.50	0.48
avec roue freinée				
Profils 1 à 8	1.06	1.03	1.0	0.98
Profils 8 à 18	1.02	1.05	0.97	0.98
Profils 1 à 18	1.04	1.04	0.99	0.99

Mesures effectuées par l'institut IVT (Prof. K. Dietrich) de l'EPFZ au moyen de son propre Skiddometer.

Remarque :

La mesure des valeurs de frottement a été effectuée systématiquement à double : une fois dans le sens EST-OUEST, puis dans le sens inverse.

La série de mesures partielles du profil 1 au profil 8 avait pour but de contrôler cette partie du tronçon d'essai, qui présentait visuellement une surface plus lisse que le reste.

Tableau complet des résultats des mesures : Annexes F.1 et F. 2.

Interprétation des résultats

Les valeurs mesurées représentent ici le coefficient de frottement μ entre le pneu et la chaussée. Les mesures ont été effectuées à roue bloquée, conformément au mode opératoire de la norme SN 640 510 b, puis avec la roue freinée, ce qui correspond à 14 % de glissement.

On ne remarque pas de différence notable entre la zone vibrée et la zone compactée sans vibration : les différences constatées sont du même ordre de grandeur que la précision de la mesure.

De façon générale, la dispersion des mesures est plus grande sur la zone vibrée.

Avec les mesures à roue bloquée, on relèvera un très léger avantage de rugosité en faveur de la zone non vibrée, aussi bien à 40 km/h qu'à 60 km/h : il semble bien que le compactage du rouleau statique (sans vibration) ferme moins la surface du revêtement que le rouleau vibrant (domaine de la macro-texture).

MESURE DE RUGOSITÉ DE SURFACE

Ref. : essai (g) page 3

Quant. de sable par m²	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
Essai de la tache de sable Quantité nécessaire pour couvrir 1 m²				
Profil 4 (g/m²)	960	530		
5	692	668		
6	705	484		
7	691	713		
8	764	486		
9	628	613		
10	745	667		
11	642	689		
12	606	904		
13	600	747		
14	540	615		
15	738	628		
Moyenne	**693**	**645**		
Ecart-type	108	117		

Mesures effectuées par le laboratoire TECHNOTEST, Berne-Liebefeld

MESURE DE LA RUGOSITÉ DE SURFACE

Ref. : essai (g) page 3

Profondeur au sable HS en mm	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
Mesure de la profondeur au sable *Méthode du LCPC Paris, 1971*				
Profil 1 prof. mm			0.52	0.40
3			0.39	0.35
5			0.38	0.46
7			0.37	0.39
9			0.53	0.45
11			0.43	0.46
13			0.42	0.34
15			0.34	0.43
17			0.50	0.32
18			0.38	0.47
Profondeur moyenne			**0.43**	**0.41**
Ecart type			0.068	0.055

Mesures effectuées par le LAVOC de l'EPFL (Prof. Dumont)

Interprétation des résultats

Le mandat de recherche prévoyait un contrôle de la rugosité du surface par la mesure de la profondeur de sable, mode opératoire de 1971 du LCPC.

Les laboratoires de Suisse alémanique ignorant cet essai, nous avons dû, pour le chantier de Koblenz, mettre en oeuvre un autre essai, celui de la "tache de sable", qui consiste à peser la quantité d'un sable calibré nécessaire pour remplir les aspérités de 1 m² de revêtement.

Pour le chantier de Sion, c'est l'essai LCPC qui a été effectué par le LAVOC.

Les mesures sur le chantier de Koblenz montrent que la quantité de sable nécessaire pour la zone non vibrée est de 7,5 % supérieure à celle utilisés pour la zone compactée avec vibration, alors que l'écart-type est légèrement inférieur. Comme pour les mesures au skiddometer, on peut en déduire que le rouleau vibrant ferme plus la surface du revêtement (macrotexture) que le rouleau statique.

La dispersion des résultats est toutefois importante et ceci sur les deux planches d'essai.

Pour le chantier de Sion, la dispersion des mesures est tout aussi importante. On peut toutefois constater un léger avantage de rugosité pour la zone non vibrée, la profondeur au sable étant de 0,02 mm, soit environ 5 % supérieure à celle de la zone vibrée. Cette différence est peu significative, compte tenu de la précision de l'essai.

5. ESSAI SUR CAROTTES ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Comme dans le chapitre précédent, les essais effectués sur les échantillons prélevés par carottage sont énumérés dans le même ordre et avec la même référence que ceux du paragraphe 2.2 "Nomenclature des essais".

HOMOGENÉITÉ DU COMPACTAGE

1. Dans le profil en travers

Référence : essai (h) page 4

Compacité sur carotte en g/cm³	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	avec vibr.	sans vibr.	avec vibr.
Carotte 04	2,351	2,367	2,225	2,331
05	2,414	2,421	2,341	2,345
06	2,413	2,416	2,265	2,303
07	2,415	2,294	2,247	2,287
08	2,336	2,425	2,282	2,344
09	2,394	2,351	2,323	2,288
10	2,353	2,389	2,366	2,311
11	2,337	2,389	2,377	2,335
12	2,354	2,372	2,330	2,292
13	2,352	2,332	2,317	2,249
14	2,386	2,353	2,274	2,296
15	2,302	2,357	2,198	2,333
Moyenne	**2,367**	**2,372**	**2,295**	**2,310**
Ecart-type	0,036	0,039	0,056	0,029

Teneur en vides en % vol.	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	avec vibr.	sans vibr.	avec vibr.
Carotte 04	5,1	4,4	10,3	6,0
05	2,8	2,2	5,6	5,4
06	2,6	2,1	8,7	7,2
07	2,6	7,0	9,4	7,8
08	5,9	2,0	8,0	5,5
09	3,4	5,1	6,4	7,8
10	5,0	3,5	4,6	6,8
11	5,9	3,5	4,2	5,9
12	5,0	3,8	6,1	7,6
13	5,1	5,5	6,6	9,3
14	3,9	5,0	8,3	7,4
15	7,1	4,8	11,4	5,9
Moyenne	**4,5**	**4,1**	**7,5**	**6,9**
Ecart-type	1,5	1,5	2,3	1,2

Interprétation des résultats

1. *Valeurs moyennes des compacités*

Sur le chantier de Koblenz, comme sur celui de Sion, les moyennes des valeurs mesurées sont très proches pour les deux tronçons, avec et sans vibration.

2. *Variation de la compacité selon l'emplacement* dans le profil en travers.

Les carottes S4, S9, S10 et S15, tout comme V6, V7, V12 et V13 ont été prélevées en bordure de chaussée (0,52 m du bord). Les échantillons S9 et V6 ne respectent pas la règle, mais dans la plupart des cas, les carottes prélevées en bord de chaussée sont moins bien compactées que celles provenant du milieu de chaussée. De plus, il est notoire que les carottes des deux extrémités du chantier ont été moins compactées que les autres : c'est le cas, du côté sans vibration comme du côté vibré, de S4, de S15 et de V4.

Ces remarques sont également valables pour la mesure des teneurs en vides.

3. *Variation de la teneur en vides dans la carotte*

L'examen des valeurs de la teneur en vides fait apparaître une différence plus marquée entre le tronçon sans vibration et le tronçon vibré : 4,5 % contre 4,1 % du volume pour Koblenz, 7,5 % contre 6,9 % pour le chantier de Sion.

Ici encore, l'essai confirme la tendance des compacteurs vibrants à fermer les pores de l'enrobé, ce qui entraîne des teneurs en vides inférieures.

Par ailleurs, le compactage semble plus efficace (teneur en vides plus faible) dans les zones médianes, là où l'enrobé est appuyé des deux côtés, qu'en bordure de chaussée, où il n'est appuyé que d'un seul côté dans le profil en travers.

HOMOGÉNÉITÉ DU COMPACTAGE
2. dans l'épaisseur du revêtement
Référence : essai (h) page 4

Teneur en vides en % vol.	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
2.1. Moitié supérieure (épaiss. 2 cm env.)				
Carotte 04	6.5	5.8	10.0	5.2
05	3.3	2.4	5.0	5.1
06	3.2	2.1	7.5	6.9
07	2.9	7.5	8.6	7.2
08	6.3	2.4	7.4	5.2
09	4.4	6.4	6.5	7.0
10	7.1	4.6	4.2	5.9
11	7.8	4.3	3.9	5.1
12	7.2	5.0	5.8	7.0
13	6.6	7.0	5.8	8.3
14	4.7	6.4	7.6	6.8
15	9.5	6.1	11.2	5.4
Moyenne	**5.8**	**5.0**	**7.0**	**6.3**
Ecart-type	2.1	1.8	2.2	1.1

Remarque : les carottes de la couche de surface ont été sciées en deux moitiés égales, selon un plan horizontal

Teneur en vides en % vol.	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
2.2. Moitié inférieure (épaiss. 2 cm env.)				
Carotte 04	4.0	3.6	10.7	6.8
05	2.7	2.1	6.4	5.9
06	2.3	2.0	9.9	7.5
07	2.4	6.8	10.3	8.3
08	5.9	1.9	8.9	5.8
09	3.0	4.4	6.3	8.6
10	3.7	2.9	5.1	7.8
11	5.2	2.9	4.7	6.6
12	3.7	2.9	6.6	8.0
13	3.8	4.3	7.4	10.1
14	3.5	4.1	9.0	8.0
15	6.1	3.8	10.8	6.7
Moyenne	**3.9**	**3.5**	**8.0**	**7.5**
Ecart-type	1.3	1.4	2.2	1.2

Interprétation des résultats

Avec cette étude, nous avons essayé d'analyser la répartition de la teneur en vides à l'intérieur d'une même carotte de 4 cm de hauteur, qui a été sciée horizontalement en deux moitiés, supérieure et inférieure.

On constate tout d'abord, comme dans les mesures de la page 25, que les deux extrémités de la planche d'essai ont été moins compactées que le reste du tronçon : que ce soit à Koblenz ou à Sion, les teneurs en vides sont plus élevées aux profils 4 et 15 que sur l'ensemble des autres profils et cette différence est plus importante pour le compactage sans vibration qu'avec la vibration.

On constate ensuite, que ce soit dans la moitié supérieure ou dans la moitié inférieure, que la moyenne des teneurs en vides est plus élevée dans le cas du compactage statique que dans celui du compactage avec vibration. On peut en tirer deux conclusions :

1. la vibration a pour effet un serrage plus énergique de l'enrobé et ceci même si on a cherché à obtenir sur le chantier la même compacité sur les deux planches, avec et sans vibration, au moyen de contrôles systématiques au nucléodensimètre.

2. les contrôles au nucléodensimètre ne sont pas fiables, il semble que, lors de mesures sur un revêtement de 4 cm, l'appareil prenne en considération la compacité de la couche de support placée immédiatement en-dessous.

On constate enfin, sur le chantier de Koblenz, que pour la totalité des carottes, la teneur en vides est plus élevée dans la moitié supérieure. Il semble donc que, lors du compactage d'un enrobé du type TA ou AB posé en 4 cm d'épaisseur, la compacité ne soit pas la même dans toute l'épaisseur du revêtement : elle est plus élevée dans la moitié inférieure que dans la moitié supérieure du revêtement. Cette observation avait déjà été relevée lors des "colloques sur le compactage" de Paris en 1980 et 1984.

Sur le chantier de Sion, par contre, le compactage a été réalisé par un compacteur lourd à pneus (21 tonnes) immédiatement derrière la finisseuse, suivi par un rouleau lisse vibrant de 9 tonnes. On constate sur les résultats des mesures que, pour la majorité de carottes prélevées, la compacité est plus élevée dans la moitié supérieure que dans la moitié inférieure. On peut attribuer ce phénomène à deux causes : ou bien le passage du rouleau à pneus entraîne un serrage beaucoup plus important en surface du revêtement qu'en profondeur, ou bien le rouleau tandem lisse (avec ou sans vibration) a été utilisé trop tardivement, à une température de l'enrobé trop basse et n'a pas agi en profondeur. La deuxième hypothèse est la plus vraisemblable.

Rappelons que la norme SN 640 431 impose, dans le cas d'un enrobé au bitume B 80/100, une température supérieure à 130° lors du compactage.

L'objectif de cette recherche n'étant pas de juger de la qualité intrinsèque du revêtement, nous ne tiendrons pas compte des résultats de cet essai sur le chantier de Sion.

On peut toutefois retenir deux enseignements :

- Dans tous les cas, le compactage avec vibration permet d'obtenir des compacités plus élevées que le compactage statique

- La compacité varie à l'intérieur d'une même carotte, mais la loi de variation n'est pas systématique et dépend du mode et de la température de compactage.

ECRASEMENT DES GRANULATS

Référence : essai (i) de la page 4

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
1. dans l'épaisseur de la carotte				
Carotte 04	51	167	614	465
05	373	169	550	800
06	138	235	369	621
07	307	239	1023	651
08	112	253	670	762
09	120	180	937	848
10	135	471	744	1126
11	301	204	763	701
12	297	208	658	948
13	253	301	356	624
14	306	340	424	711
15	220	467	614	747
Moyenne	**218**	**270**	**644**	**750**
Ecart-type	103	106	207	171

Remarque : Comptage visuel sur la section d'une carotte sciée verticalement selon son diamètre
Unité : nombre de grains fendus ou écrasés **par m² de section**

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
2. à la surface supérieure de la carotte				
Carotte 25	720	240	1203	1337
26	840	480	1203	1604
27	480	480	1337	1604
28	480	480	1470	1203
29	480	1560	2139	1470
30	480	720	1337	669
31	600	360	2273	1337
32	600	360	1604	1203
33	240	240	1470	1604
34	360	840	669	1604
35	600	600	1738	1738
36	600	480	1203	2808
Moyenne	**540**	**570**	**1470**	**1515**
Ecart-type	158	359	434	498

Remarque : après décapage au jet de sable
Unité : nombre de grains fendus ou écrasés **par m² de section**

Interprétation des résultats

On a parfois accusé la vibration d'écraser ou de faire éclater les granulats. Cet essai avait pour but de vérifier cette hypothèse.

Le premier essai, consistant à compter les grains fendus ou éclatés à **l'intérieur** de la couche d'enrobés, l'examen se faisant sur une section verticale de la carotte, permet d'émettre un jugement sur l'effet du compactage en profondeur.

Une première constatation s'impose : sur le chantier de Sion, le nombre de grains écrasés est trois fois plus élevé que sur le chantier de Koblenz. Deux raisons concomitantes l'expliquent vraisemblablement : la dureté des granulats du Valais est certainement moindre que celle des gravillons d'Argovie, mais aussi le compactage au rouleau lisse à une température trop basse, qui a exigé un nombre de passages plus important, entraînant un nombre plus élevé de granulats écrasés.

La seconde constatation est que, aussi bien à Koblenz qu'à Sion, on a dénombré plus de grains fendus ou écrasés sur la planche compactée avec la vibration que sur la planche sans vibration. La différence entre les moyennes est de l'ordre de + 24 % à Koblenz, de + 16 % à Sion, pour des écarts-type du même ordre de grandeur à l'intérieur de chaque chantier.

Le second essai, de son côté, dénombre les grains fendus ou éclatés à la **surface supérieure** de la carotte. Ici encore, l'examen en laboratoire a dénombré presque trois fois plus de grains écrasés sur les carottes prélevées à Sion que sur les carottes provenant de Koblenz. La raison est vraisemblablement la même que ci-dessus.

On constate, comme dans le 1er essai, que le nombre de grains fendus ou éclatés est plus élevé dans les carottes provenant de la zone vibrée que dans celles provenant de la zone compactée sans vibration. La différence est toutefois moins sensible que dans le 1er essai : de l'ordre de + 5 % pour le chantier de Koblenz et + 3 % pour celui de Sion. Les écarts-type sur les résultats de cet essai sont sensiblement plus importants que pour le 1er essai et les conclusions doivent être considérées avec prudence. Cet essai aurait mérité d'être répété et approfondi.

ORIENTATION DES GRANULATS DANS L'ESPACE

Référence : essai (j) de la page 4

Proportion grains couchés / grains disposés verticalement

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
Carotte 01	2,5	2,0	5,0	5,7
02	4,2	2,9	5,2	17,0
03	3,1	3,8	10,5	8,0
-				
16	6,0	3,4	8,0	6,8
17	4,8	2,2	5,0	7,7
18	2,5	3,4	6,0	13.0
Moyenne	**3,9**	**3,0**	**6,6**	**9,7**
Ecart-type	1,4	0.7	2,2	4,4

Cet essai consiste en un comptage visuel des granulats dont l'axe principal est vertical, puis en celui des granulats dont l'axe principal est horizontal, puis à calculer le ratio entre ces deux chiffres (méthode P. Sibler, laboratoire STUAG).

Peut-être à cause de son caractère subjectif, les résultats présentent une dispersion énorme et la reproductibilité de l'essai est encore moins fiable. Il n'a pas été possible de tirer des conclusions des chiffres ci-dessus.

REMONTEES DE LIANT DANS LE REVETEMENT

Référence : essai (k) de la page 4

Détermination du rapport liant/filler (en poids) dans l'épaisseur du revêtement, mesuré sur les deux moitiés, supérieure et inférieure, de la carotte

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
1. Moitié supérieure (épaisseur 2 cm env.)				
Carottes 6, 7, 12, 13	0,668	0,645	0,577	0,577
Carottes 5, 8, 11, 14	0,626	0,557	0,593	0,586
Carottes 4, 9, 10, 15	0,609	0,661	0,595	0,587
Moyenne :	**0,634**	**0,621**	**0,588**	**0,583**
2. Moitié inférieure (épaisseur 2 cm env.)				
Carottes 6, 7, 12, 13	0,565	0,585	0,588	0,596
Carottes 5, 8, 11, 14	0,599	0,573	0,595	0,596
Carottes 4, 9, 10, 15	0,544	0,638	0,599	0,604
Moyenne	**0,569**	**0,599**	**0,594**	**0,599**
Moyenne des 2 moitiés	0,601	0,610	0,591	0,591

Interprétation des résultats

Sur le chantier de Koblenz, on constate que, pour une même carotte, la teneur en liant est toujours supérieure dans la moitié supérieure de la carotte :

- 0,634 contre 0,601 après compactage sans vibration et
- 0,621 contre 0,610 après utilisation de la vibration.

Si l'on compare toutefois la moyenne des résultats de mesure sur les carottes provenant de la zone sans vibration avec celles provenant de la zone compactée avec vibration, on constate :

- dans la moitié supérieure de la carotte, une teneur en liant légèrement plus élevée dans la *zone non vibrée*

- dans la moitié inférieure de la carottes, une teneur en liant légèrement plus élevée dans la *zone vibrée*.

Ces différences sont cependant du même ordre de grandeur que celui de la précision de la mesure ; on ne peut donc pas en tirer de conclusion.

Sur le chantier de Sion, les écarts entre les valeurs mesurées sont insignifiantes.
Il semble donc que l'utilisation de la vibration lors du compactage des enrobés aux températures recommandées par les normes n'entraîne pas une remontée systématique du liant à la surface.

ADHERENCE AVEC LA COUCHE DE SUPPORT

Référence : essai (l) de la page 4

Mesure de la résistance au cisaillement de l'interface couche de surface / couche de support (essai EMPA, Dübendorf)

Appareillage : presse hydraulique , mêmes conditions que l'essai Marshall :
avancement : 50,8 mm par minute
température de l'échantillon : 40°C

	KOBLENZ (AG)		SION (VS)	
	sans vibr.	**avec vibr.**	**sans vibr.**	**avec vibr.**
Résultats exprimés en N/mm²				
Carotte No 25	0,45	0,42	0,38	0,38
26	0,42	0,43	0,32	0,29
29	0,42	0,34	0,32	0,39
30	0,34	048	0,34	0,33
33	0,42	0,21	0,35	0,31
34	0,55	0,50	0,32	0,29
Moyenne	**0,43**	**0,40**	**0,34**	**0,33**
Ecart-type	0,07	0,11	0,02	0,04

Interprétation des résultats

Sur le chantier de Koblenz, il semble que l'utilisation de la vibration lors du compactage entraîne une légère diminution de l'adhérence entre la couche de surface et la couche de support. La différence entre les valeurs étant toutefois inférieure à l'écart-type de la mesure, il n'est pas possible d'en tirer des conclusions.

Sur le chantier de Sion, on ne constate pratiquement pas de différence entre les deux séries de mesures.

ESSAI DE RUPTURE PAR FATIGUE

Référence : essai (m) de la page 5

Appareillage :

"Pulsator" du laboratoire Walo Bertschinger, Zürich

Principe :

les contraintes que cet essai impose aux éprouvettes de revêtement bitumeux simule l'influence de la circulation routière sur le revêtement et l'essai est effectué aussi bien à température élevée qu'à basse température.

L'essai est effectué sur des séries de 3 éprouvettes et permet de déterminer deux paramètres:

- la résistance au fluage à température élevée, grâce à l'essai à la compression simple à + 50°C

- la flexibilité aux basses températures, grâce à l'essai à la traction par flexion à -10°C.

Les éprouvettes sont rectifiées au préalable et placées dans une enceinte thermique plusieurs heures avant l'essai. La température y est maintenue constate et contrôlée en permanence. Les déformations permanentes sont relevées par une installation digitale et enregistrées graphiquement toutes les 45 mises en charge.

Interprétation du relevé graphique

La courbe des déformations en fonction des cycles de chargement présente toujours 3 zones distinctes :

- une zone initiale à très forte pente, correspondant à un postcompactage de l'éprouvette

- une zone où la courbe est linéaire (portance normale)

- une zone finale où la pente augmente rapidement pour aboutir au fluage lors de l'essai à haute température, ou pour atteindre la rupture de l'éprouvette lors de l'essai à basse température.

Mode opératoire (voir annexes A et B)

Interpretation des resultats

1. *CHANTIER DE KOBLENZ (AG)*

La fig. C représente les résultats de l'essai à la compression et la fig. D ceux de l'essai à la traction par flexion, essais effectués sur une série de 3 éprouvettes de chacune des planches d'essai, compactées sans vibration et avec utilisation de la vibration.

Il y a lieu de préciser que les compacités des échantillons prélevés sur le chantier présentaient des variations importantes :

Echantillons TA 16 U soumis à l'essai à la compression :

- compacté **sans** vibration : teneur en vides moyenne : 4,0 %
- compacté **avec** vibration : teneur en vides moyenne : 2,5 %

Echantillons TA 16 U soumis à l'essai de traction par flexion :

- compacté sans vibration : teneur en vides moyenne : 1,4 %
- compacté avec vibration : teneur en vides moyenne : 2,7 %

Bien que l'allure générale des deux enregistrements graphiques soit très proche l'une de l'autre, les fortes variations dans la compacité des échantillons ne permet pas de tirer des conclusions péremptoires.

Si on ne retient que l'essai à la compression simple, on constate une tendance générale à une plus grande résistance au fluage des enrobés compactés **sans** vibration.

Il y a lieu de relever que, si l'on veut obtenir des résultats représentatifs et fiables, il est nécessaire de disposer d'une plus grande quantité d'éprouvettes et que, d'autre part, les éprouvettes confectionnées sur chantier présentent des écarts entre elles bien plus importants que des éprouvettes confectionnées en laboratoire.

2. *CHANTIER DE SION (VS)*

Les fig. E et F représentent les enregistrements de l'essai à la compression et les fig. G et H ceux de l'essai de traction par flexion.

Les écarts de compacités entre les différents échantillons prélevés sur le chantier de Sion étaient moins importants que dans la première série d'essais.

Si l'on compare les enregistrements des fig. E et F à la compression, l'enrobé compacté sans vibration présente dans la phase initiale du graphique des déformations plus importantes : un post compactage important a eu lieu. L'enrobé vibré, lui, présente dans cette même phase initiale une courbe de déformation dont la pente est plus importante, mais la déformation géométrique est plus faible. Les deux courbes finissent par se rejoindre et la rupture a lieu à peu près en même temps.

La comparaisons des graphiques des fig. G et H à l'essai de traction par flexion par -10°C permet, elle, de tirer une conclusion claire : alors que le revêtement compacté **sans** vibration présente un excellent comportement dans la "zone de portance" médiane (fig. G) pour atteindre la rupture après 16'500 cycles, l'éprouvette correspondant à l'enrobé compacté avec utilisation de la vibration atteint rapidement la rupture après 3400 cycles de chargement (fig. H).

EN RESUME :

Pour l'essai à la fatigue par compression simple, les valeurs mesurées à +50°C sont très semblables. On constate toutefois une tendance générale : les enrobés compactés **sans** vibration présentent une résistance au fluage légèrement supérieure.

Pour l'essai à la fatigue à -10°C par flexion, par contre, le comportement des enrobés compactés au rouleau statique s'avère très largement meilleur que celui des enrobés compactés au rouleau vibrant, en ce qui concerne l'évolution de la déformation comme en ce qui concerne la rupture par fatigue.

EFFETS DE LA VIBRATION SUR LA COUCHE DE SUPPORT

Référence : essai (n) de la page 5

On a essayé de déterminer l'effet éventuel de la vibration sur la couche de support mise en place préalablement en procédant :

1) à l'examen visuel de la couche de support prélevée par carottage sur le chantier

2) à l'essai de fatigue au "Pulsator" sur les éprouvettes de la couche de support, conformément au mode opératoire décrit au chapitre précédent.

1. EXAMEN VISUEL DES CAROTTES

Que ce soit sur le chantier de Koblenz ou sur celui de Sion, l'examen visuel de la surface supérieure de la couche de support, après séparation soigneuse de la couche de surface, n'a pas permis de déceler de différence significative entre la planche d'essai compactée avec emploi de la vibration et celle compactée sans vibration.

2. ESSAI DE FATIGUE SUR LA COUCHE DE SUPPORT

Sur chacun des deux chantiers, on a prélevé une série de 6 échantillons par carottage à la fois sur la couche de surface et la couche de support.

Les échantillons de la couche de support ont été soumis à l'essai de fatigue au "PULSATOR", selon le mode opératoire décrit au chapitre précédent, l'objectif étant de déceler une éventuelle fragilisation de la couche de support lorsque la couche de surface est mise en place au moyen de compacteurs vibrants.

2.1. *CHANTIER DE KOBLENZ (AG)*

La fig. J représente les résultats de l'essai à la compression et la fig. K ceux de l'essai à la flexion.

Essai à la compression à + 50°C
Dans la phase initiale (dite de postcompactage), les deux éprouvettes d'enrobé HMT B 32 se comportent de manière tout à fait semblable. Dès que l'on aborde la partie linéaire de l'enregistrement graphique, on observe que la couche de support compactée au rouleau vibrant accuse une pente supérieure pour atteindre la rupture à 2800 cycles de chargement, alors que l'enrobé compacté sans vibration n'a atteint la rupture qu'après 3860 cycles.

Essai de flexion à -10°C
Le comportement au froid des deux séries d'éprouvettes a été, ici aussi, très semblable dans la phase initiale. Même dans la phase intermédiaire, dite linéaire, les deux graphiques sont très proches l'un de l'autre, la rupture par fissuration intervenant à 9300 cycles de chargement pour la couche de support compactée sans vibration et à 12600 cycles de chargement pour l'enrobé compacté avec un rouleau vibrant.

Il faut toutefois relever que les teneurs en vides différaient dans des proportions importantes et il ne serait pas judicieux d'en déduire une conclusion de portée générale. Il serait souhaitable de répéter cet essai sur un nombre plus important d'échantillons.

2.2. *CHANTIER DE SION (VS)*

Les figures L et M représentent l'enregistrement de l'essai à la compression et les fig. N et O ceux de l'essai de flexion.

A l'essai de compression à 50°C, la couche de support compactée au rouleau vibrant présente une meilleure résistance à la déformation que celle compactée sans vibration : après 3000 cycles de chargement, le fluage accuse 166/100e de mm contre 238/100e de mm pour l'enrobé compacté sans vibration.

La rupture intervient également plus tard, l'amélioration étant de l'ordre de 10 % exprimé en nombre de cycles de chargement.

A l'essai à la traction par flexion à -10°C, les différences de comportement des deux couches de support(avec et sans mise en oeuvre de la vibration) sont peu significatives. On peut relever que le fluage par fatigue est moins important pour la couche de support compactée **sans** vibration (la pente de l'enregistrement est plus faible dans sa partie linéaire), ce qui signifie que sa résistance du fluage est meilleure. La rupture par fissuration intervient également plus tôt avec l'enrobé vibré qu'avec celui compacté sans vibration (respectivement après 12400 et 15300 cycles de chargement).

E N R E S U M E

Soumis à l'essai de fatigue à + 50°C, les deux séries d'échantillons se comportent de façon très proche : le compactage au rouleau vibrant apporte un léger avantage en ce qui concerne la résistance au fluage.

A l'essai de fatigue à -10°C par contre, le compactage au rouleau lisse, **sans** vibration, semble présenter moins d'inconvénients que le rouleau vibrant : la résistance au fluage permanent est meilleure et la rupture intervient après un plus grand nombre de cycles chargement/déchargement.

6. CONCLUSIONS

Le but de cette étude était d'observer et de quantifier l'influence de la vibration lors du compactage des enrobés bitumeux au moyen d'un rouleau lisse vibrant.

L'étude a été menée sur deux chantier différents, c'est-à-dire par deux entreprises distinctes dans deux cantons différents. La composition des ateliers de compactage n'ayant pas été la même sur les deux chantiers, il faut se garder de comparer entre elles les valeurs absolues des mesures relevées sur chacun des chantiers.

Un certain nombre d'enseignements ont toutefois pu être tirés de cette recherche.

Influence de la vibration sur les caractéristiques géométriques

On a d'abord contrôlé l'uni et la planéité du revêtement. Les valeurs exigées par les normes pour l'uni longitudinal ont été atteintes aussi bien avec la vibration qu'avec le cylindrage au rouleau statique. Le contrôle de la planéité transversale a relevé une dispersion des résultats deux fois plus importante sur la planche d'essai vibrée que sur le revêtement non vibré : les profondeurs d'ornières y sont aussi plus importantes. Dans les deux cas, l'utilisation du rouleau vibrant semble accentuer les inégalités de la planéité.

La rugosité de surface a été mesurée selon trois méthodes différentes. Si l'utilisation du "skiddometer" n'a pas permis de déceler des différences significatives par suite de la grande dispersion des mesures , l'utilisation du pendule SRT a permis d'affirmer que l'emploi de la vibration avait pour effet un certain lissage de la surface du revêtement. Enfin, le contrôle par la méthode de la profondeur au sable a permis de déceler une différence encore plus nette des caractéristiques antidérapantes entre les deux cas de compactage, les valeurs différant de 5 à 7,5 % en valeur absolue. Malgré la dispersion des résultats, les observations concordent : l'utilisation de la vibration lors du compactage a tendance à niveler les aspérités (macrorugosité) et à fermer la surface du revêtement.

Influence de la vibration sur les caractéristiques physiques

L'étude de l'homogénéité du compactage dans un même profil en travers a montré que la teneur en vides était systématiquement plus basse dans le revêtement vibré que dans la planche compactée sans vibration. Cette observation ne fait que confirmer que la vibration augmente l'énergie de compactage.

L'étude de l'évolution de la teneur en vides à l'intérieur d'une même carotte a montré que cette teneur en vides n'était pas constante : elle semble toujours plus basse dans la moitié inférieure que dans la moitié supérieure de la carotte. Cette observation est conforme aux conclusions des "Colloques sur le compactage" de Paris en 1980 et 1984 : la compacité varie à l'intérieur d'une même carotte, mais la loi de variation n'est pas systématique et dépend du mode de compactage. Il est probable que l'on puisse attribuer ce phénomène à l'"effet d'enclume" que génère la couche de support préexistante.

Afin de déceler l'effet de la vibration sur l'écrasement des granulats, on a procédé à deux essais distincts. Ces derniers ont montré que, pour la planche d'essai compactée **avec** vibration , la proportion de grains fendus ou écrasés dans l'épaisseur de la carotte était de 16 à 24 % plus élevée que pour le revêtement compacté sans vibration.

A la surface du revêtement, la différence entre les deux revêtements n'était que de 3 % et 5 %.

L'examen à la loupe de la tranche des carottes n'a pas permis de déceler une quelconque différence entre les échantillons pour ce qui concerne l'orientation des grains dans l'espace ni pour la proportion de liant ou de mortier dans l'enrobé.

Influence sur les caractéristiques mécaniques

L'étude de l'adhérence de la couche d'enrobés mise en place sur son support a décelé une légère diminution d'adhérence lorsque le compactage fait usage de la vibration.

Une série d'essais de fatigue, à chaud d'abord, à froid ensuite, a apporté quelques enseignements. L'essai de fatigue à la compression simple, à + 50°C, effectué sur les échantillons de l'enrobé étudié n'a pas permis de différencier nettement les deux types de compactage. On a tout de même relevé une tendance : le revêtement compacté **sans** vibration présente une résistance au fluage légèrement supérieure.

Lors de l'essai de fatigue à la flexion à -10°C, le comportement des enrobés compactés **sans** vibration s'est avéré bien meilleur que celui des enrobés vibrés, aussi bien pour la résistance à la déformation que pour la valeur de rupture.

Les mêmes essais de fatigue ont été effectués sur des échantillons prélevés dans la couche de support préexistante. Les essais de fatigue à chaud n'ont pas permis de relever de différences significatives. Lors des essais à froid, les échantillons provenant de la planche d'essai **non** vibrée se sont mieux comportés que les autres : la résistance au fluage est plus élevée et la rupture intervient après un plus grand nombre de cycles de chargement.

REMARQUES FINALES

Pour plusieurs des essais énumérés dans cette étude, la dispersion des résultats s'est révélée très importante. Lors de la détermination de la teneur en vides, les différences relevées entre deux échantillons prélevés, l'un au centre de la chaussée, l'autre en bordure de celle-ci, étaient bien plus importantes que les différences entre la zone compactée **sans** vibration et la zone vibrée. Les essais mis en oeuvre au cours de la présente étude ne relevaient pas toujours des sciences exactes, mais ils étaient adaptés aux besoins de cette dernière.

Il serait souhaitable, au cours d'une recherche complémentaire, de compléter et approfondir trois des conclusions de cette étude :

- la variation de la compacité à l'intérieur d'un même plan vertical de la couche d'enrobés

- la diminution de l'adhérence entre le revêtement et son support dans le cas de l'emploi de la vibration

- le comportement à la fatigue à basse température nettement défavorable des enrobés compactés au rouleau vibrant

7. RECOMMANDATIONS A L'USAGE DU PRATICIEN

1. L'emploi de la vibration a tendance à accentuer les inégalités du revêtement : ornières et flaches, mais aussi différences de compacité dans la couche.

2. L'emploi de la vibration a tendance à niveler les aspérités et à fermer la surface du revêtement, ce qui diminue les qualités antidérapantes.

3. L'utilisation de la vibration augmente de beaucoup l'énergie du compactage et on atteint très rapidement la limite inférieure de la teneur en vides : il est recommandé de diminuer le nombre de passages et de contrôler la compacité en permanence.

4. L'utilisation de la vibration a pour effet l'écrasement ou l'éclatement d'un certain nombre de granulats ; il faut en tenir compte lors du choix de l'épaisseur de pose.

5. Aucune migration du liant ou du mortier n'a été constatée lorsque le rouleau vibrant était employé judicieusement : température de l'enrobé conforme aux recommandations des normes et nombre de passages réduit.

6. L'utilisation de la vibration semble entraîner une diminution de l'adhérence entre deux couches d'enrobés, malgré la présence d'une couche d'accrochage. Dans toute la mesure du possible, il est préférable de compacter les couches de surface **sans** les vibrer.

7. L'utilisation des compacteurs vibrants ne semble pas avoir d'influence négative sur le comportement à la fatigue aux températures élevées. Le fluage intervient toutefois plus tôt sur les revêtements vibrés.

8. A basse température, on a constaté pour les enrobés vibrés une diminution de la résistance au fluage et l'intervention de la rupture par traction bien plus tôt que dans le cas du compactage statique. Il est donc recommandé de ne pas faire appel à la vibration dans les régions où l'hiver est rigoureux si l'on veut éviter la fissuration par retrait des revêtements de chaussée en hiver.

9. Le compactage au rouleau vibrant semble exercer également une influence défavorable sur la couche de support placée immédiatement en-dessous, dans le sens d'une fragilisation de l'enrobé.

10. En résumé, il semble préférable de ne pas faire appel à la vibration lors du compactage de couches minces. Le tableau ci-après en résume les raisons.

INFLUENCE DE LA VIBRATION LORS DU COMPACTAGE D'UN REVETEMENT BITUMEUX DE 4 CM D'EPAISSEUR

Essais	Compactage		Remarques
	sans vibration	avec vibration	
Caractéristiques géométriques			
Uni longitudinal	+	-	
Planéité transversale	+	-	
(pendule SRT)	+ o	- o	
Rugosité de surface (skiddometer)	o	o	
(profondeur sable)	+	-	
Caractéristiques physiques			
Homogénéité dans le profil en travers	o	o	compactage plus efficace avec vibration
Homogénéité dans l'épaisseur	o	o	compacité supérieure dans le bas
Ecrasement des granulats	+	-	
Ecrasement des grains en surface	+	-	
Remontées de mortier	o	o	
Caractéristiques mécaniques			
Adhérence à la couche de support	+ o	- o	
Essais de fatigue sur la couche de surface :			
• à + 50°C par compression	+ o	- o	
• à - 10° C par flexion	+	-	
Essais de fatigue sur couche de support			
• à + 50°C par compression	o	o	
• à - 10° C par flexion	+	-	

Légende : + = favorable
o = différence peu ou non significative
- = défavorable

BIBLIOGRAPHIE

1. Asphalt Concrete Compaction Study, RN DOTY
California Dept. of Transportation, Transportation Laboratory, California USA 1985

2. Bituminous Pavement Construction : New methods
JH TANSKI, New York State Dept. of Transportation, New York, USA, 1985

3. Field Compaction of Asphalt Mixtures
KENNEDY, Texas University
Austin, Texas, USA 1984

4. Compactage de couches minces de rechargement : un test avec un rouleau tandem vibrant comparé à un rouleau statique à trois roues
AN. BJOERKLUND, DYNAPAC AB, Suède
Colloque international sur le compactage, Paris, Mai 1984
éditeur : Presses de l'Ecole Nat. des Ponts et Chaussées, Paris

5. Vibratory Compaction - a literature survey
C.J. VAN DER MERWE, National Institute for Transport and Road Research
Pretoria, South Africa, 1984

6. Morphologische Beurteilung verdichteter bitumöser Mischungen
Rappport de recherche No 24/78 de la VSS
Dr. Chr. ANGST, EPFZ, Juillet 1982

7. Norme SN 640 432
"Revêtements en béton bitumeux"

ANNEXES

3.1. Druckschwellversuch

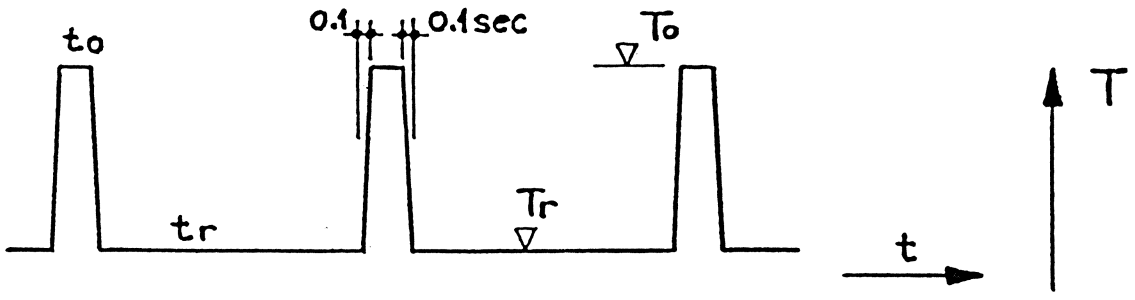
Für den Druckschwellversuch wurden die Probekörper planparallel geschliffen. Die Flächen wurden anschliessend mit Siliconfett bestrichen und mit Graphitflocken abgestäubt, um Zwängungen in horizontaler Richtung zu vermeiden und eine ungehinderte Seitendehnung zu ermöglichen.
Für die Druckschwellversuche wurden die folgenden Bohrkerne verwendet:

HMT B 32	S 22, S 23, S 24 / V 22, V23, V 24	Höhe 60 mm
TA 16 u	S 22, S 23, S 24 / V 22, V 23, V 24	Höhe 35 mm

Die Prüfbedingungen lauteten:

Temperatur		+ 50 C
Frequenz		0.5 Hz
Restlast	Druckspannung	Tr = 0.02 N/mm2
	Zeitdauer	tr = 1.6 sec.
Oberlast	Druckspannung	To : HMT = 0,20 N/mm2 / TA = 0,40 N/mm2
	Zeitdauer	to = 0.2 sec.

Belastungsschema:



Die Lastwechsel - Verformungsdiagramme aller Beläge sind auf den nächsten Seiten aufgezeichnet, die Einzelkurven sind im Anhang 1 dargestellt.

3.2 Biegezugschwellversuch

Für den Biegezugschwellenversuch wurden aus den Probestücken Balken gesägt und allseitig planparallel geschliffen. Für diese Versuche wurden die folgenden Probestücke verwendet:

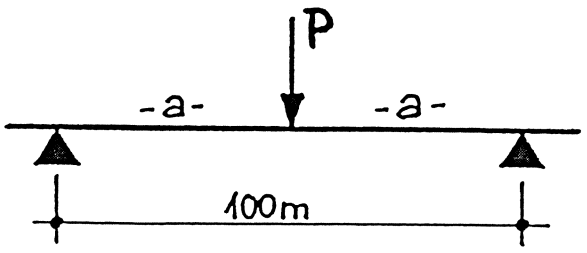
HMT B 32	S 19, S 20, S 21 / V 19, V 20, V 21	Breite 60 mm / Höhe 60 mm
TA 16 u	S 19, S 20, S 21 / V 19, V 20, V 21	Breite 60 mm / Höhe 35 mm

Die Prüfbedingungen lauten:

Temperatur - 10 C

Restlast	Belastung	Pr : HMT = 350 N / TA = 100 N
	Zeitdauer	tr = 1.2 sec.
	Zugsspannung	Tz = 0.24 N/mm2
Oberlast	Belastung	Po : HMT = 7500 N / TA = 1900 N
	Zeitdauer	to = 0.2 sec.
	Zugsspannung	Tz = 5.20 N/mm2
	Steigerung der Last alle 3000 Lastwechsel um 300/1250 N (= 0.9 N/mm2)	

Belastungsbild:

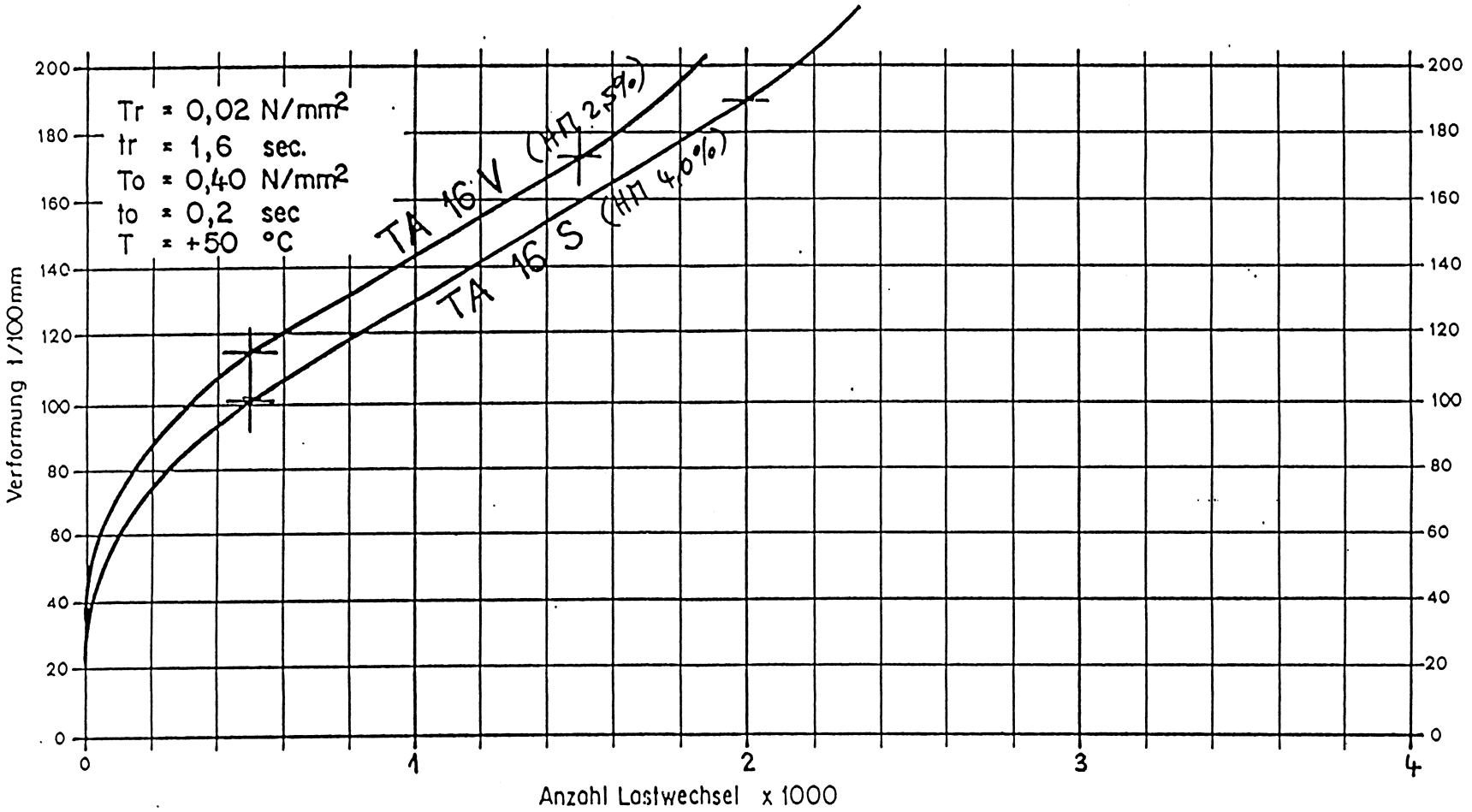


Wolo Bertschinger Central AG
Giessenstrasse 5, 8952 Schlieren
Zentrale Labordienste
Tel. 01/730 30 73

Auftrag-Nr. TA 16 u

Pulsator-Nr.

DRUCK – SCHWELLVERSUCH



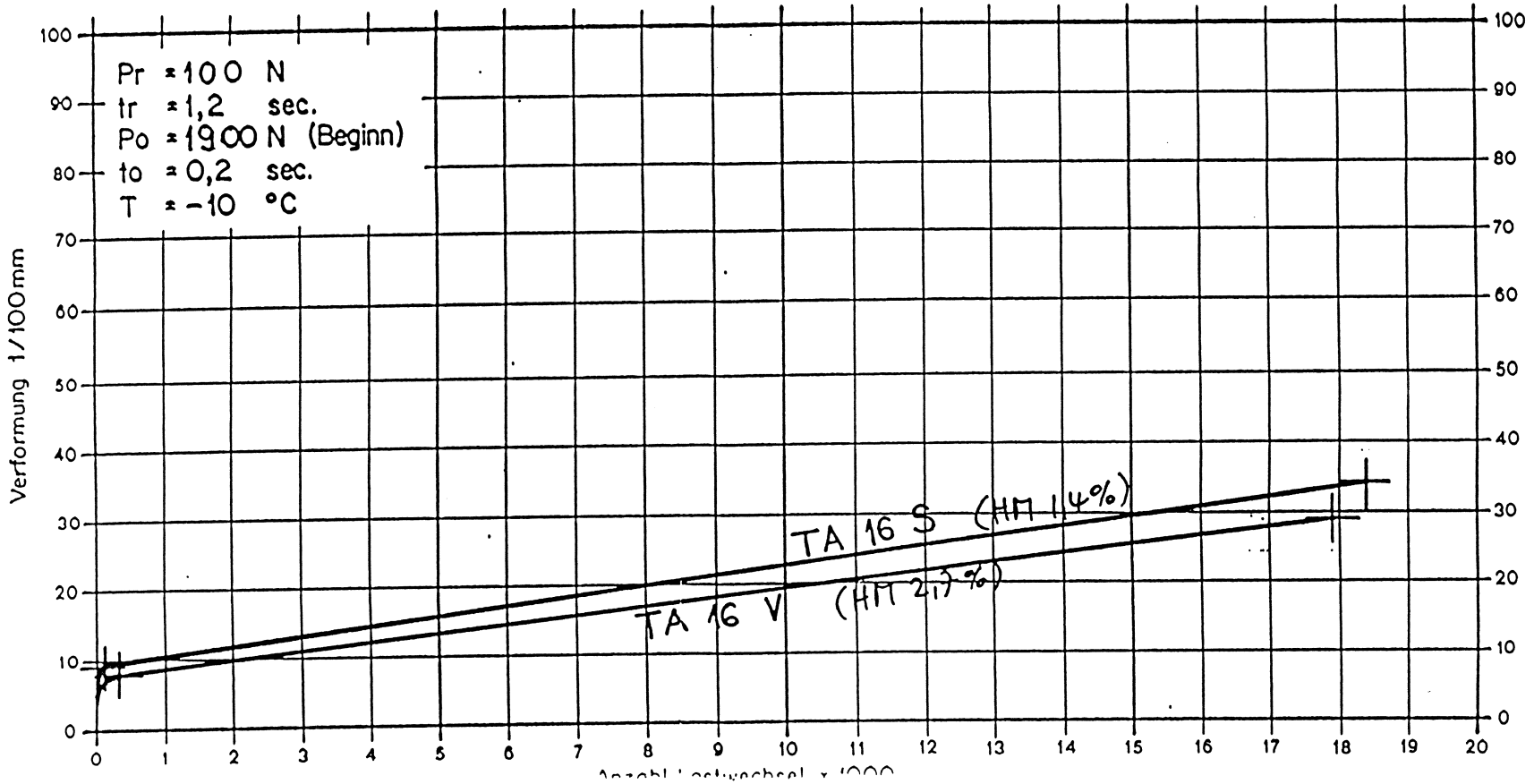
Annexe C

Walo Bertschinger Central AG
Giessenstrasse 5, 8952 Schlieren
Zentrale Labordienste
Tel. 01/730 30 73

Auftrag-Nr. TA 16u

Pulsator-Nr. _____

BIEGEZUG-SCHWELLVERSUCH



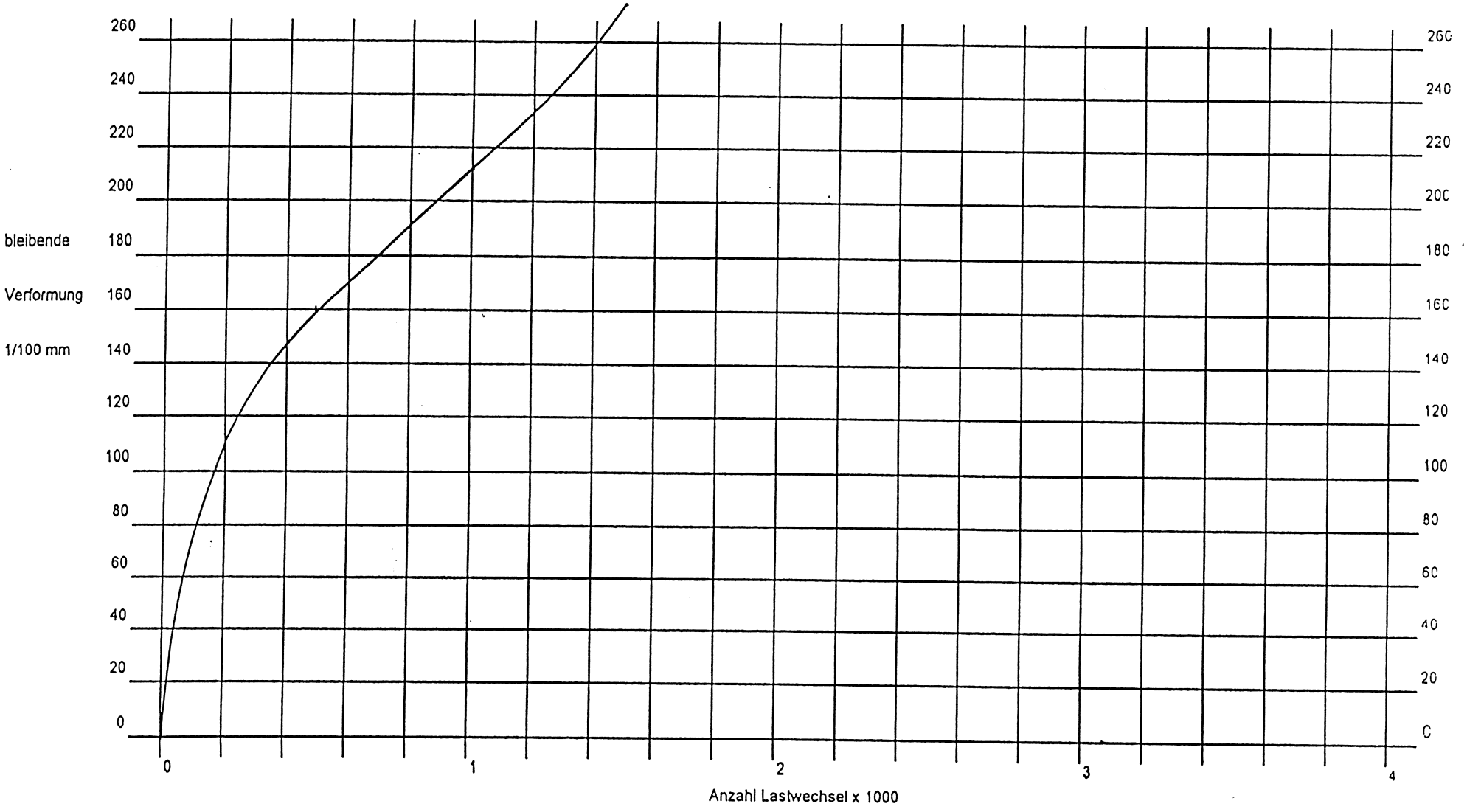
Annexe D

DRUCK-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92

S 19 - 21 Deckschicht



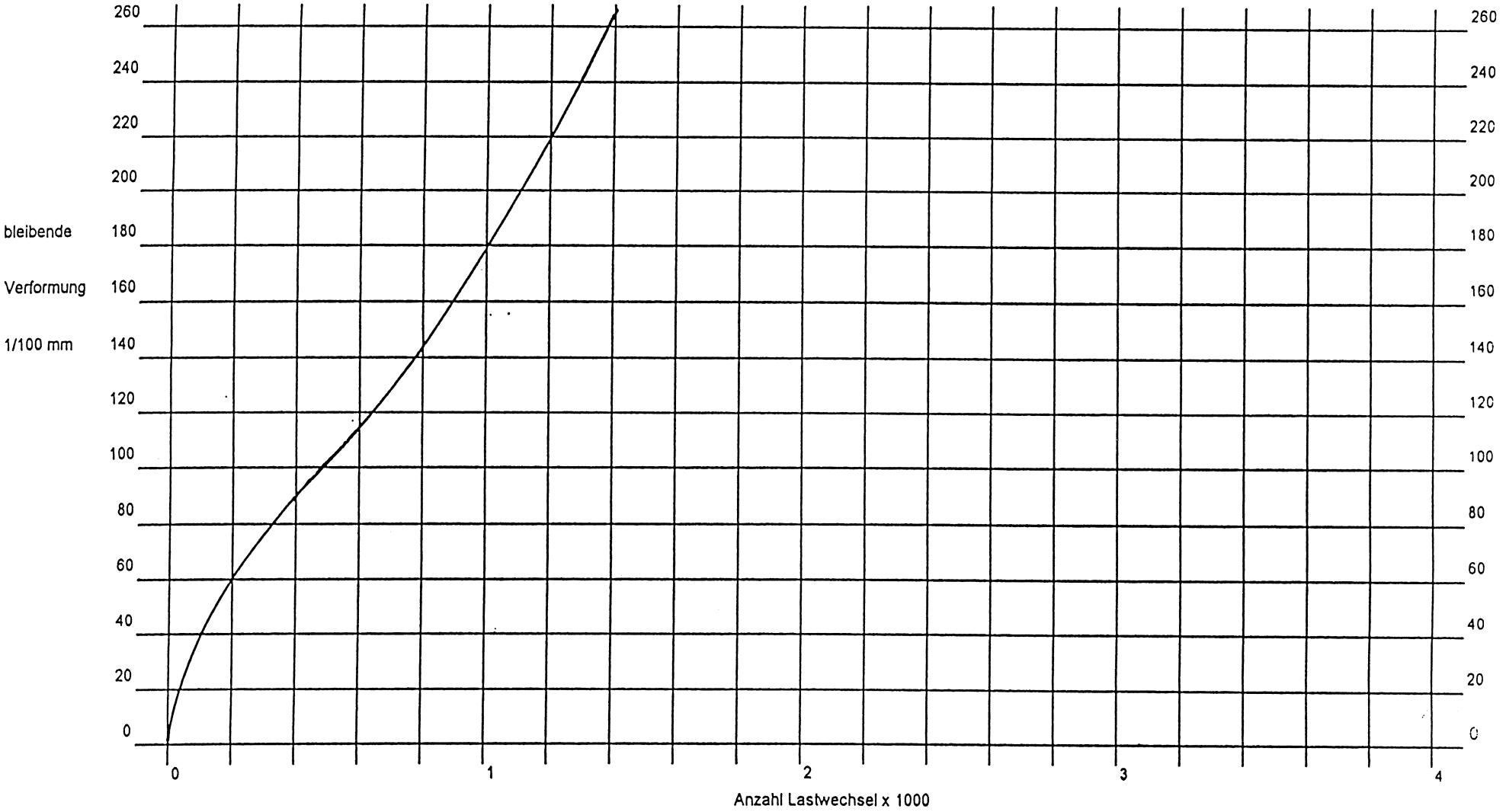
Annexe 5

DRUCK-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92

V 19 - 21 Deckschicht



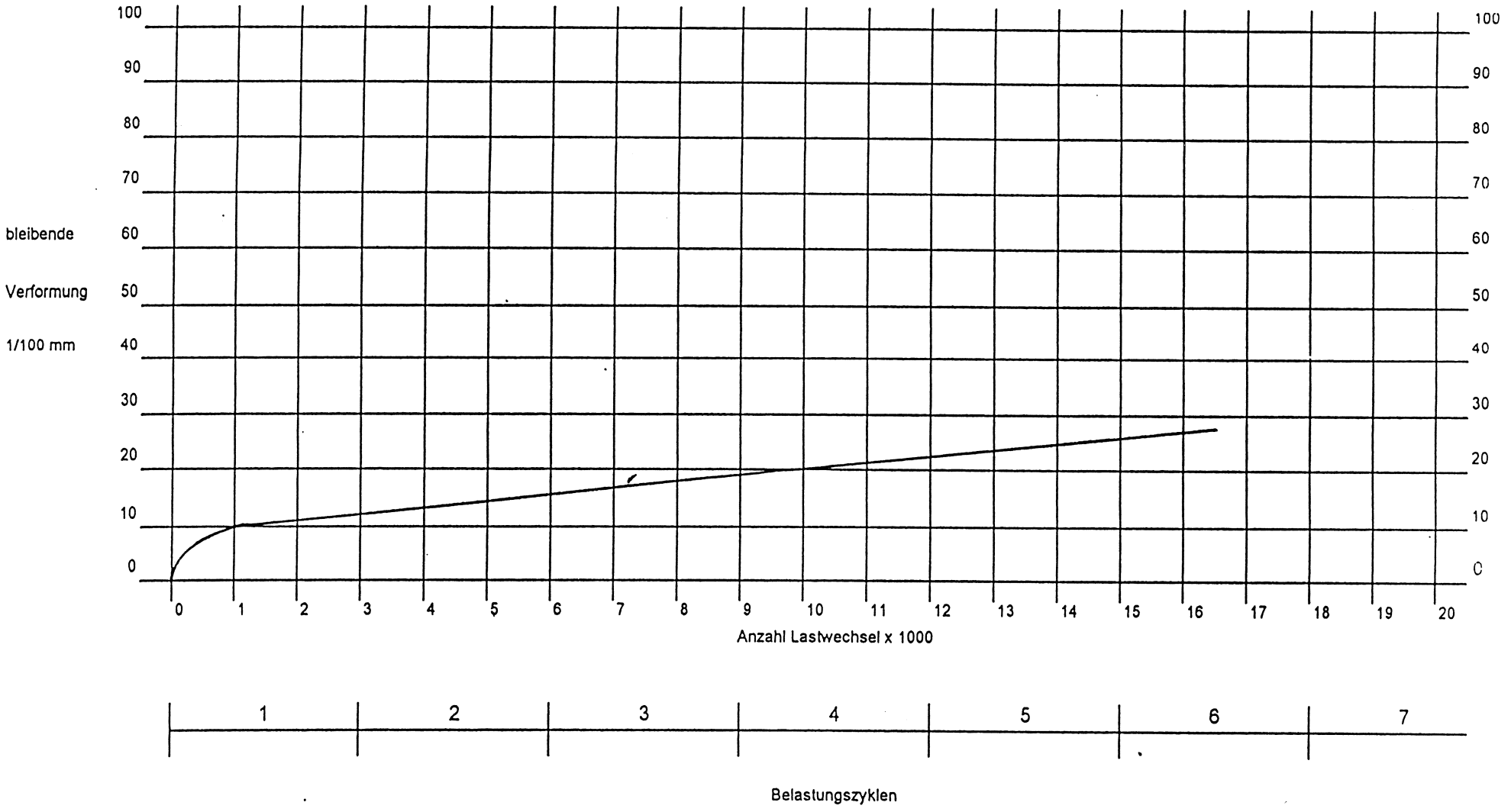
Annexe 5

¦EGEZUG-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92

S 22 - 24 Deckschicht

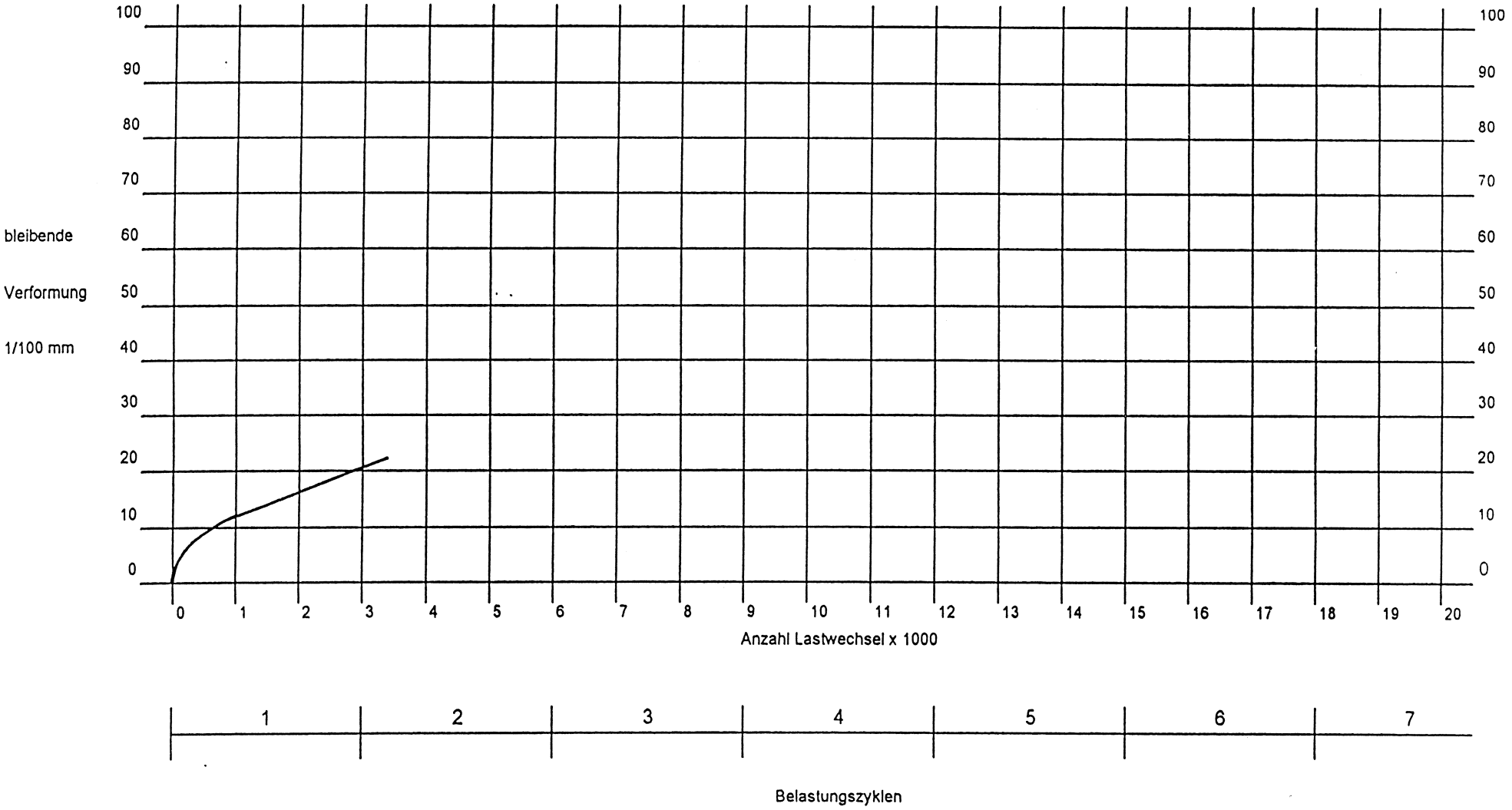


Annexe G

...EGEZUG-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92 V 22 - 24 Deckschicht



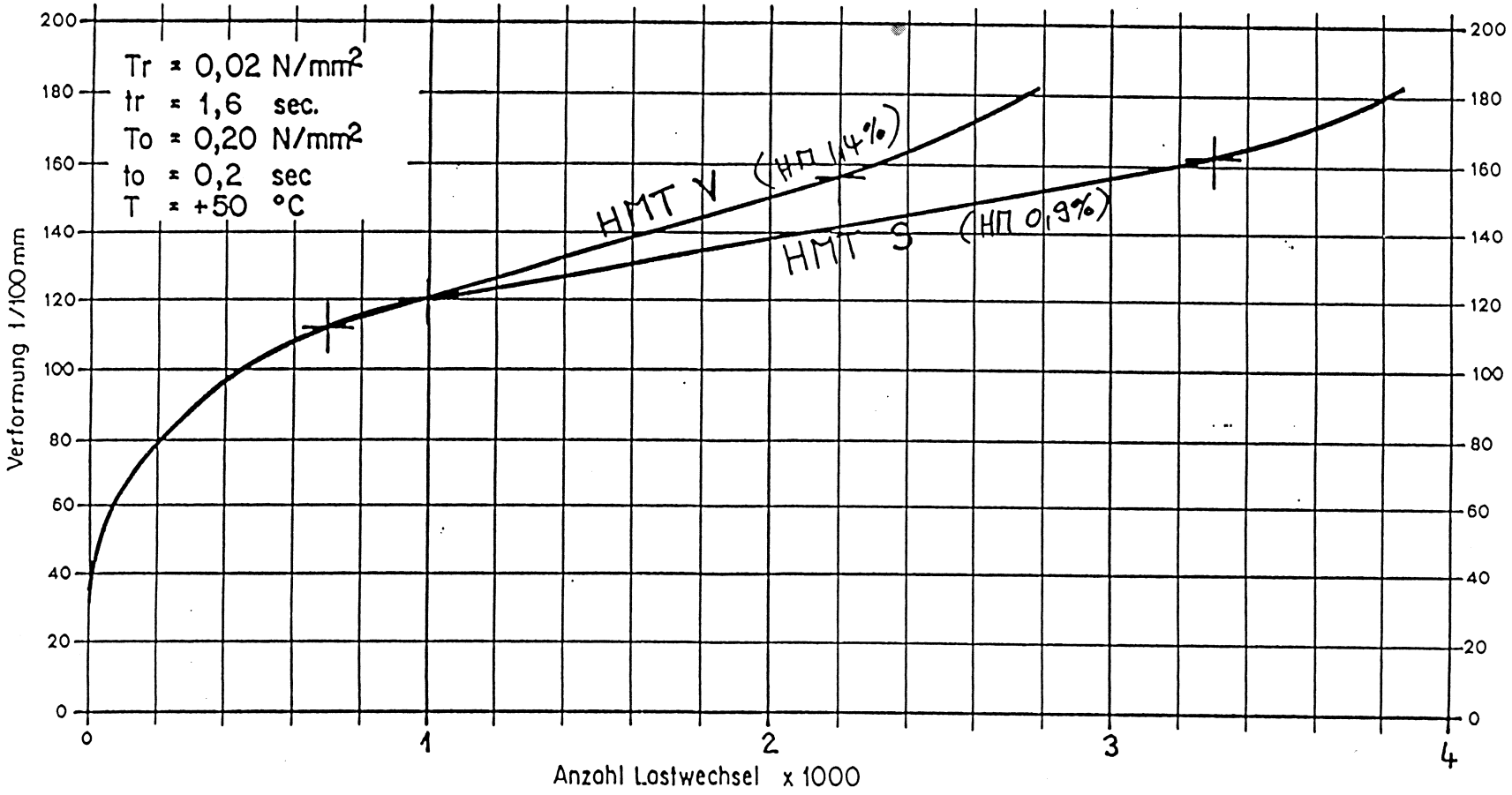
Annexe H

Walo Bertschinger Central AG
Giessenstrasse 5, 8952 Schlieren
Zentrale Labordienste
Tel. 01/730 30 73

Auftrag-Nr. HMT B 32

Pulsator-Nr. _____

DRUCK – SCHWELLVERSUCH



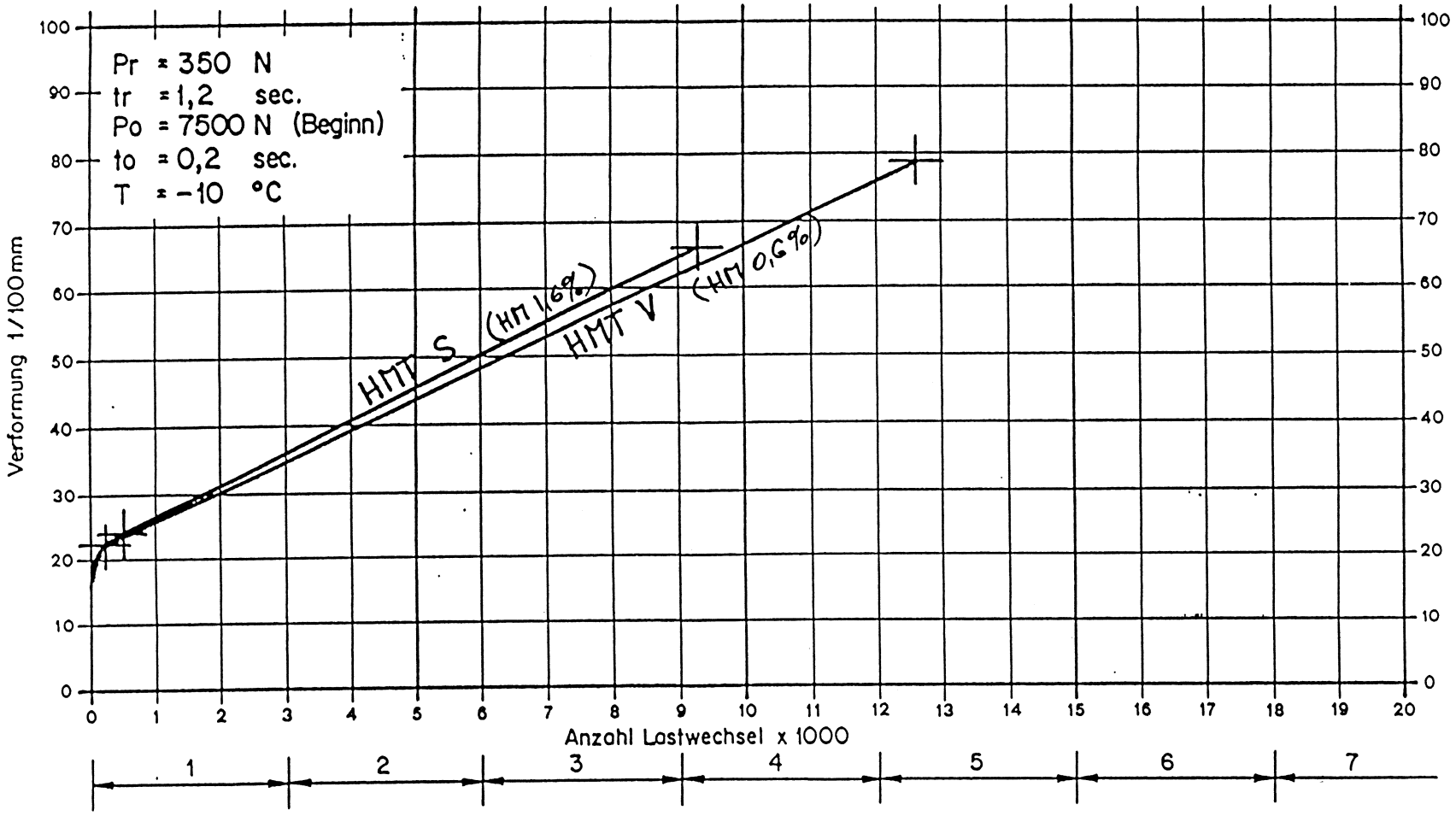
Annexe J

Walo Bertschinger Central AG
Giessenstrasse 5, 8952 Schlieren
Zentrale Labordienste
Tel. 01/730 30 73

Auftrag-Nr. HMT B 32

Pulsator-Nr. _____

BIEGEZUG-SCHWELLVERSUCH



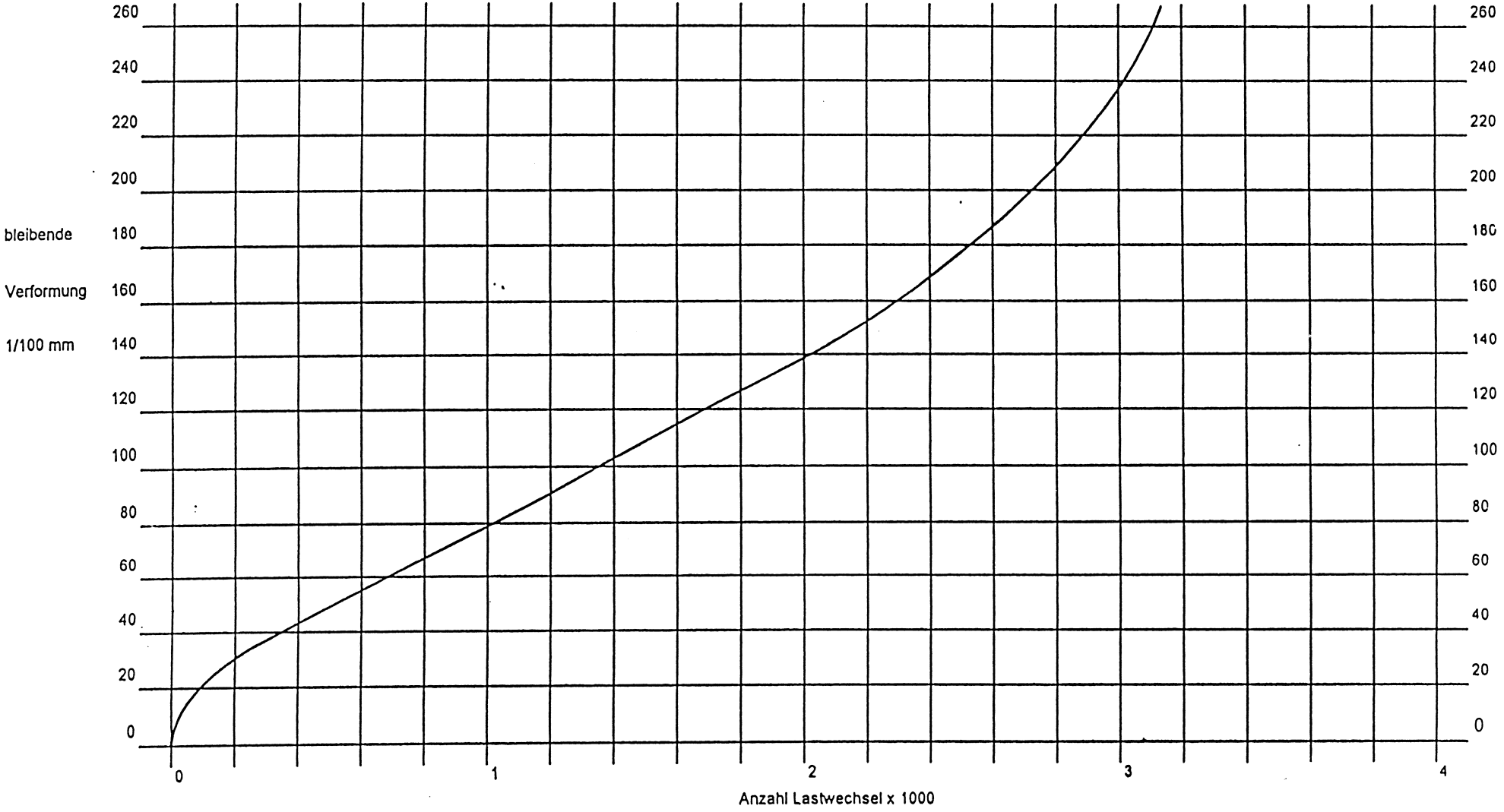
Annexe K

DRUCK-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92

S 19 - 21 Tragschicht



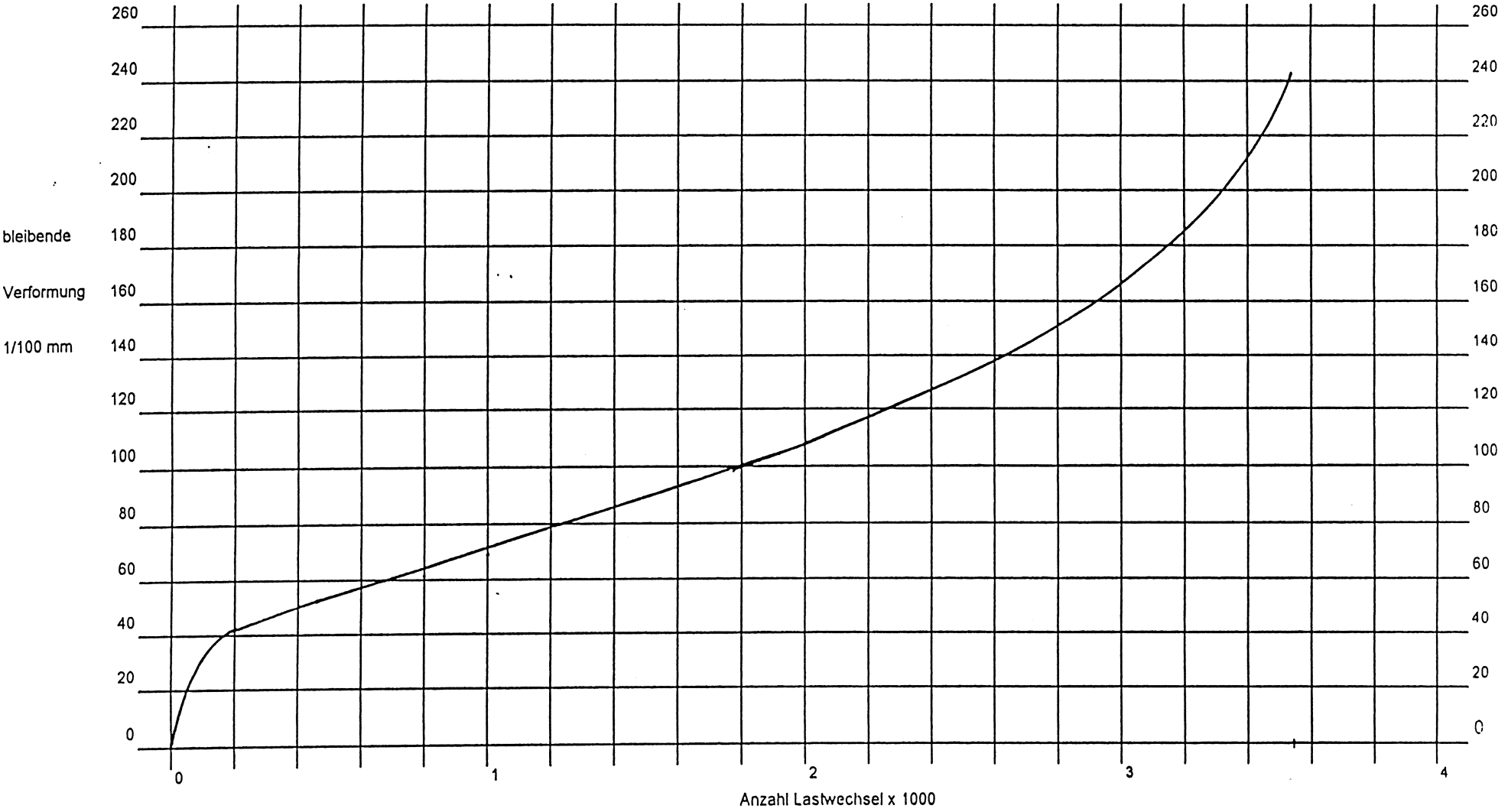
Annexe 7

DRUCK-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92

V 19 - 21 Tragschicht



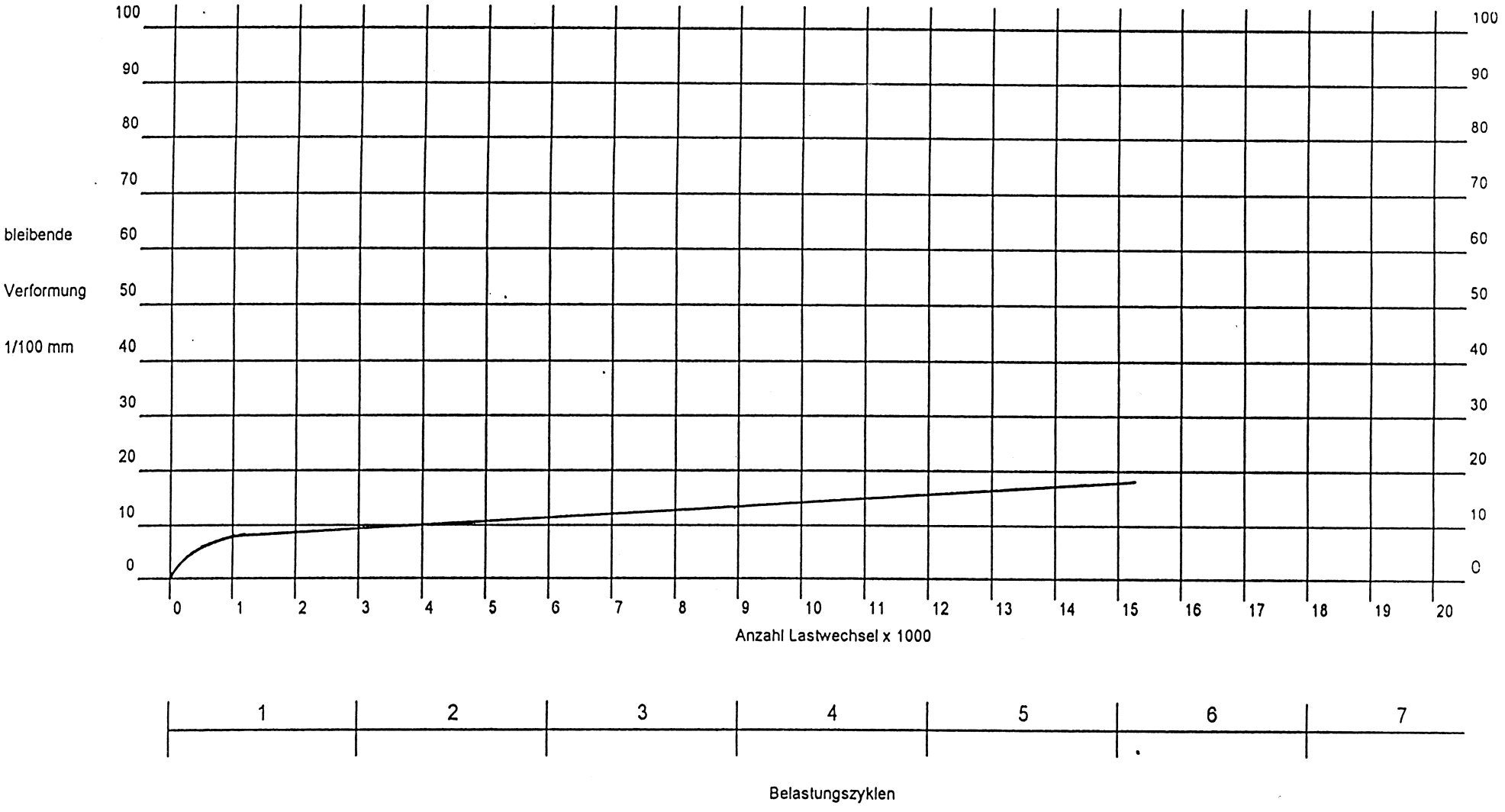
Annexe M

EGEZUG-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92

S 22 - 24 Tragschicht



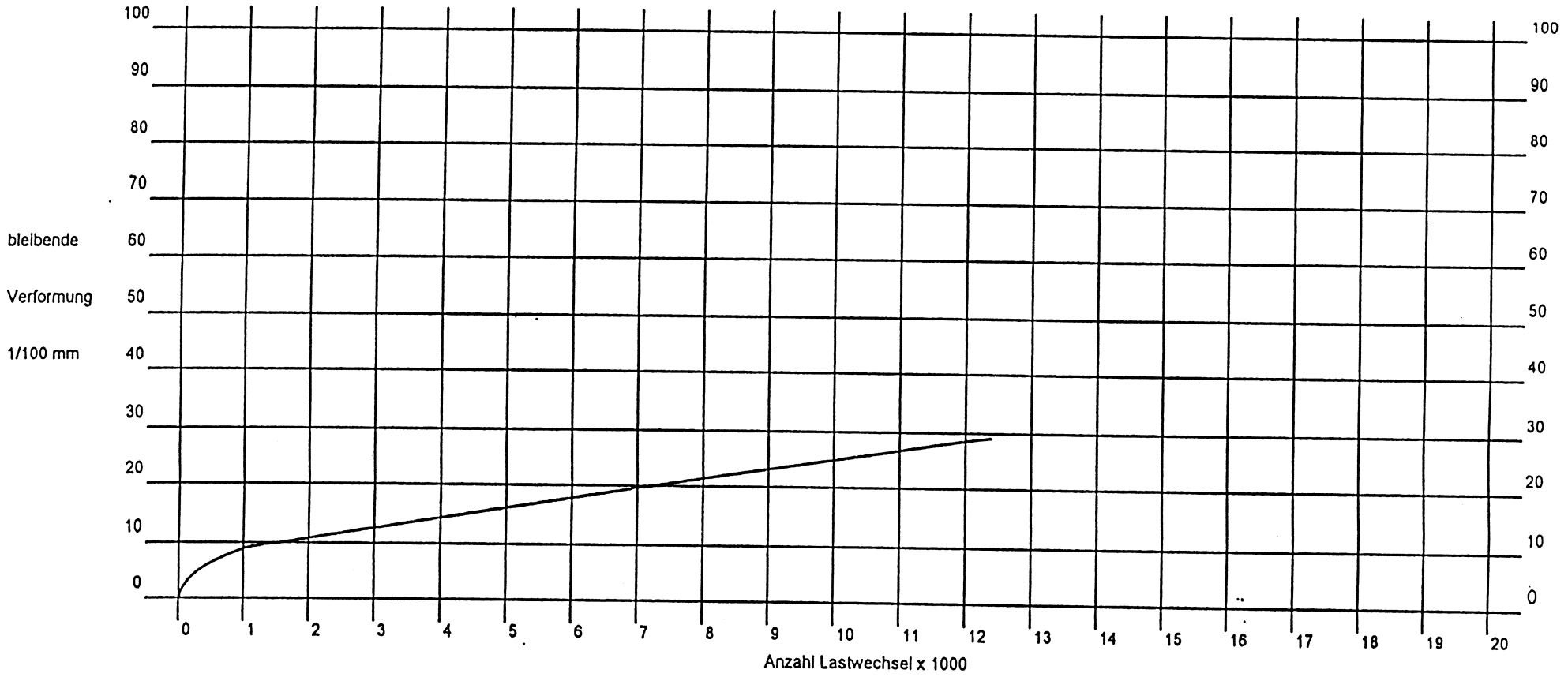
Annexe N

BIEGEZUG-SCHWELLVERSUCH

Walo Bertschinger Central AG
Belagstechnologie und
zentrale Labordienste

Auftrag-Nr. VESTRA 91/92

V 22 - 24 Tragschicht



Annexe O