

LE RECYCLAGE

CANQ
TR
GE
RC
156

901244

LE RECYCLAGE

Richard F. Tessier
Préparé par: Richard F. Tessier
Etudiant Stagiaire
Laboratoire Central

Ste-Foy, le 20 avril 1979

CANQ
TR
GE
RC
156

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
830, CHEMIN SAINTE-FOY
6^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC)
G1S 4X9

REÇU CENTRE DE DOCUMENTATION 28 AVR. 2006 TRANSPORTS QUÉBEC

REMERCIEMENT

Une étude comparative de cette envergure, nécessite une période de temps prolongée pour être menée à bon terme.

Seul, une pareille étude s'avère pratiquement impossible à réaliser à l'intérieur d'un stage. Or, si ce rapport voit le jour aujourd'hui, c'est sans aucun doute dû à la collaboration qu'a bien voulu m'apporter le Laboratoire Central, par l'entremise du chef de la division des Matériaux, monsieur Richard Langlois. Pour la confiance qu'il m'a accordée et les nombreux conseils qu'il m'a aussi prodigués, je tiens à le remercier.

Il en va de même pour tout ceux, qui de près ou de loin, ont travaillé à mes côtés, soit pour me conseiller ou encore agir en tant que techniciens.

Merci aussi à l'Université de Sherbrooke qui m'a permis, à l'intérieur de son système coopératif, d'être stagiaire à la faculté des sciences appliquées.

Merci à tous!

TABLE DES MATIERESListe des tableauxListe des figures

1. Introduction
 2. Le Recyclage, C'est Important
 - 2.1 Le recyclage en général
 - 2.2 Les implications du recyclage
 3. Projet de Recyclage, Automne 1978
 - 3.1 Situation et détails concernés
 - 3.2 Remarques et commentaires
 4. Le Recyclage du Chantier à Laboratoire
 - 4.1 La théorie
 - 4.2 Expérimentalement
 5. Influence d'un adjuvant dans les Mélanges Recyclés
 - 5.1 Mélanges recyclés
 - 5.2 Analyse du matériel disponible
 - 5.3 Fabrication des mélanges
 - 5.3.1 Les mélanges recyclés sans adjuvant
 - 5.3.2 Les mélanges recyclés avec adjuvant
 - 5.4 Analyse des résultats
 6. Augmentation considérable des pénétrations
 - 6.1 Détermination de la teneur en bitume
 - 6.2 Estimation de la quantité d'adjuvant
 7. Conclusion
 8. Bibliographie
- Tableaux
- Figures

LISTE DES FIGURES

- Figure I Schéma de l'usine
- Figure II Fuseau granulométrique - Carottes prélevées
- Figure III Fuseau granulométrique - Banc Meilleur
- Figure IV Fuseau granulométrique - Banc Prud'Homme
- Figure V Fuseau granulométrique - Banc Lacasse
- Figure VI Fuseau granulométrique - Moyenne des trois bancs
- Figure VII Fuseau granulométrique - Théorique
- Figure VIII Fuseau granulométrique - Chantier
- Figure IX Fuseau granulométrique - Laboratoire
- Figure X Fuseau granulométrique - Moyenne pondérée du
vieux revêtement prélevé
- Figure XI Fuseau granulométrique - Pierre prélevée à l'usine
- Figure XII Fuseau granulométrique - Mélange 150/200
- Figure XIII Fuseau granulométrique - Mélange 200/300
- Figure XIV Fuseau granulométrique - Mélange 300/400
- Figure XV Fuseau granulométrique - Mélange 150/200 plus adjuvant
- Figure XVI Fuseau granulométrique - Mélange 200/300 plus adjuvant
- Figure XVII Fuseau granulométrique - Mélange 300/400 plus adjuvant
- Figure XVIII Estimation de la quantité d'adjuvant.
- Figure XIX Estimation de la pénétration du bitume résiduel

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Analyse des carottes prélevées sur la route 311
Tableau II	% cumulatif passant - Bancs disponibles et moyenne
Tableau III	Propriétés du bitume 200/300 - Projet
Tableau IV	% cumulatif passant - Calcul théorique
Tableau V	% cumulatif des mélanges - Chantier et laboratoire
Tableau VI	Propriétés du mélange - Chantier et laboratoire
Tableau VII	% cumulatif passant - Moyenne pondérée du vieux revêtement prélevé et de la pierre
Tableau VIII	Propriétés des bitumes 150/200, 200/300 et 300/400
Tableau IX	Spécification de l'adjuvant - Cyclogen L
Tableau X	Propriétés des mélanges 150/200, 200/300 et 300/400
Tableau XI	% cumulatif passant - Mélange 150/200, 200/300 et 300/400
Tableau XII	Propriétés des mélanges 150/200, 200/300 et 300/400 avec adjuvant
Tableau XIII	% cumulatif passant - Mélange 150/200, 200/300 et 300/400 avec adjuvant

1. INTRODUCTION

Le recyclage de vieux béton bitumineux vient de prendre naissance dans la province de Québec et peut s'avérer très économique si les ingénieurs savent en tirer tous les avantages.

Le but premier de ce rapport est donc d'essayer d'arracher du grand secret des bitumes certaines informations pertinentes et améliorer les prochains projets de ce genre au Québec. Pour ce faire, une analyse des résultats obtenus lors du projet pilote, comparativement à certains calculs théoriques, essaie de fournir certains points intéressants susceptibles de mieux réaliser un tel projet. Certains essais en laboratoire, avec différents types de bitumes et adjuvants tentent de percer l'énigme que produit les mélanges de deux bitumes différents pour toujours optimiser les qualités du produit attendu.

Si de plus, ce rapport à propos du recyclage peut influencer certaines gens tels que les entrepreneurs et ingénieurs voulant parfaire leurs connaissances et approfondir plus à fond les détails qui demeurent toujours obscurs, nous en serons des plus heureux.

Le recyclage des bétons bitumineux est maintenant un domaine de l'actualité qui se doit de se développer car Le Recyclage, C'est Important.

2. LE RECYCLAGE, C'EST IMPORTANT

2,1 Le recyclage en général

Ouvrons le dictionnaire au domaine concernant le recyclage

pour y lire:

"Action de réintroduire dans une fraction d'un circuit ou d'un cycle de traitement, un fluide où des matières qui l'ont déjà parcourue, lorsque leur transformation est incomplète par un passage unique" (1)

Après un certain temps, les revêtements bitumineux présentent des fissures, des modifications de la granulométrie originale et une usure marquée, dépendant plus ou moins du taux de circulation. Ces constatations d'usage, tant qu'aux routes devant être réaménagées, sont constantes. Les cycles de la nature augmentent la vitesse de vieillissement des revêtements pour occasionner l'oxydation des bitumes, la volatilisation, et l'absorption au niveau des granulats. Ainsi la viscosité du liant augmente, sa pénétration s'abaisse et la ductilité du pavage disparaît graduellement.

A partir de ce moment, le recyclage peut jouer un rôle important dans le réaménagement de telles routes. Dans la construction de nouvelles routes, il faut apporter une quantité élevée de nouveaux granulats, de sable et de bitume neuf. Le Ministère des Transports a donc tenté pour la première fois au Québec, le recyclage d'un vieux revêtement se prêtant au projet, à l'automne 1978. En réintroduisant 85% de vieux pavage par rapport à 15% de nouveau mélange, déjà certaines économies sont notées. Les vieux granulats ayant déjà absorbé une quantité de vieux bitume, en absorberont une quantité mineure lors de la fabrication d'un mélange recyclé. Une quantité de l'ordre de 2,0% peut donc s'avérer suffisante en ce qui a trait au bitume neuf à ajouter au mélange total.

Du point de vue matériel, le recyclage de vieux revêtement est avantageux. Il peut également être favorable de recycler une route si cette dernière offre un accès difficile aux transporteurs de gravier ou de bitume. De fait, certains bancs de gravier peuvent se trouver à plusieurs kilomètres de l'usine, et alors la distance peut jouer un rôle prédominant.

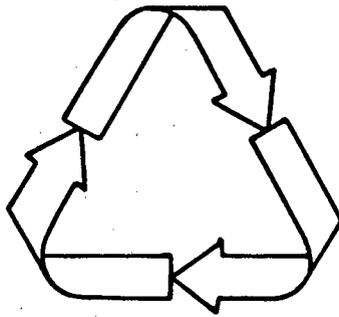
En raison de la situation économique que nous connaissons aujourd'hui, nous ne sommes pas sans savoir qu'il y aura dans les années à venir encore l'inflation à subir. Une augmentation des coûts d'énergie, des matériaux neufs et de la main-d'oeuvre fera apprécier aux responsables et entrepreneurs des constructions routières les recherches faites dans le sens du recyclage. Pour toutes ces raisons et bien d'autres "Le Recyclage, C'est Important".

2,2 Les implications du recyclage

Le recyclage n'est pas une chose difficile à réaliser. Cependant, certaines façons d'agir sont suggérées parmi toutes les possibilités de procédés, pour en tirer les meilleurs avantages. Il faut également être en mesure de répondre à certaines exigences.

Pour donner une idée de ces derniers points, à travers un projet de recyclage, les pages qui suivent donnent justement d'une façon simple et simplifiée un avant goût de ce qu'implique le recyclage. Soit:

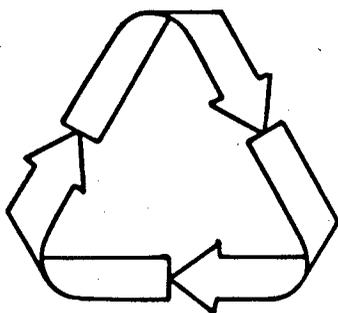
- Le procédé
- Les avantages
- Les possibilités
- Les exigences



PROCEDE

ELEMENTS CRITIQUES

- COUT - RELATIF A LA RECONSTRUCTION
CONVENTIONNELLE & AUX METHODES
DE RESURFACAGE
- MATERIEL RECUPERE - ETRE CONVENABLE POUR LE PROCEDE
- MATERIEL RECYCLE - ETRE D'UNE QUALITE ACCEPTABLE



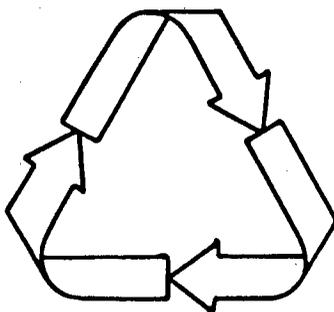
PROCEDE

CONCEPTION

UN PROCEDE VISANT A RECYCLER LE
VIEUX PAVAGE , COMPREND :

LE PLANISSAGE A FROID D'UNE EPAISSEUR
SPECIFIEE DE PAVAGE

UN PROCEDE A CHAUD POUR RETROUVER
CERTAINES PROPRIETES DU VIEUX PAVAGE



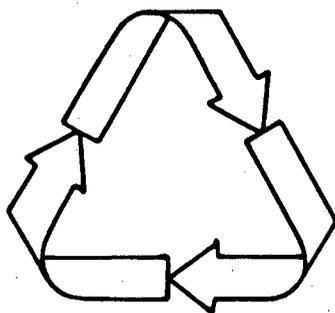
AVANTAGES

POUR UNE REDUCTION DES COUTS:

MINIMISER LES CHANGEMENTS INDESIRABLES DANS LA GEOMETRIE DE LA ROUTE.

ELIMINER LE PLANISSAGE AVEC DE NOUVEAUX MATERIAUX, PAR LE PLANISSAGE A FROID DU VIEUX PAVAGE, POUR EN CONTROLER LE PROFIL.

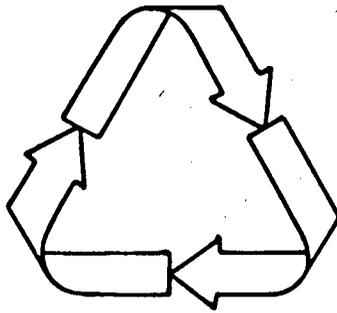
PROLONGER LA DUREE DE VIE DU PAVAGE TOUT EN CONSERVANT DES GRANULATS ET DU BITUME



POSSIBILITES

METHODE DE RECYCLAGE

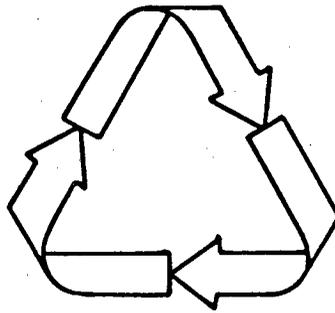
- * PRELEVEMENT A FROID - MELANGE ET MALAXAGE A CHAUD,
EN USINE CENTRALE - EPANDAGE & COMPACTION
- * CHAUFFAGE - SCARIFICATION DE PROFIL/MELANGE EN PLACE
- EPANDAGE & COMPACTION
- * DECHIREMENT/PULVERISATION EN PLACE DU MELANGE &
MALAXAGE - EPANDAGE & COMPACTION
- * REFECTION DE SURFACE
- * PLANISSAGE A CHAUD



EXIGENCES

I. DANS LA METHODE DE RECUPERATION, ON DOIT:

1. PREVOIR LE PROFIL SPECIFIQUE ET LA PENTE.
2. REDUIRE LE MATERIEL A LA GROSSEUR DESIREE, SANS DEGRADATION EXCESSIVE.
3. RENCONTRER LES NORMES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.
4. LAISSER UNE SURFACE ACCEPTABLE A LA CIRCULATION.
5. OU IL Y A LIEU DE LE FAIRE, TAILLER LE BETON BITUMINEUX ET LE BETON DE CIMENT.



EXIGENCES

II. LORS DU PROCÉDE DE PRODUCTION ET DE MALAXAGE, ON DOIT:

1. PRODUIRE UN MELANGE A CHAUD AYANT LES PROPRIETES DESIREES PAR:
 - A) LE RETABLISSEMENT DES PROPRIETES DU BITUME
 - B) LA CORRECTION DE LA GRANULOMETRIE
2. RENCONTRER LES NORMES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.
3. FABRIQUER A GRANDE ECHELLE DES PROPORTIONS NOUVEAU/VIEUX MATERIEL.
4. UTILISER L'EQUIPEMENT DISPONIBLE AVEC UN MINIMUM DE MODIFICATION.

3. PROJET DE RECYCLAGE, AUTOMNE 1978

3,1 Situation et détails concernés

Pour son premier projet de recyclage, la route 311 entre le village de Val Barrette et Lac des Ecorces, se trouvait toute désignée.

Le projet en question permettant de recycler une longueur de 8,3 km de route offrait la possibilité de récupérer 8 037 tonnes d'ancien revêtement, pour enfin produire 10 000 tonnes de mélange du type MB-3 (2).

Le contrôle de ce projet fut confié à trois techniciens du C.R. de Montréal, dont deux à mi-temps et le troisième à temps complet, à l'usine. Un autre technicien était de surveillance au chantier.

Le vieux pavage fut scarifié au moyen d'une niveleuse et chargé à l'aide d'une chargeuse dans les camions. L'entreposage de ce vieux revêtement était fait sur un terrain adjacent à l'usine. Pour le concassage, l'utilisation d'un concasseur primaire fut utilisé dans un premier temps. Pour accélérer le processus, un concasseur primaire avec mâchoires mobiles et un secondaire à cône, avec amortisseur de choc, fut utilisé en second lieu.

Une usine à malaxage avec tambour sécheur servit à fabriquer les mélanges. Cependant, deux modifications mineures furent apportées. Premièrement, il y eut l'installation d'un "pyrocone". Tout en éloignant la flamme de l'entrée du bitume dans le tambour, le pyrocone a pour fonction de réduire en même temps

qu'uniformiser la température des gaz dans le tambour. Cet élément de l'usine donne son nom au procédé de fabrication. La figure 1 démontre son emplacement dans l'usine ainsi que les dimensions du pyrocone. La seconde modification amène à l'usine un dispositif permettant d'humidifier les matériaux sur la courroie menant au tambour malaxeur. Lors des malaxages, le contrôle de la pollution n'a occasionné aucun problème.

Après deux jours d'ajustement, le mélange était constitué de

- 33,3% de vieux pavage
- 14,7% de granulats neufs ajoutés
- 2,0% de bitume 200/300 neuf

Les nouveaux granulats provenant de trois bancs différents se retrouvaient classifiés comme du gravier 0 - 3/4" (calibre 103) (3)

Pour la qualité du mélange, elle fut dans l'ensemble très satisfaisante. Le chapitre suivant analyse ces résultats brièvement qui témoignent de cette dernière assertion.

3,2 Remarques et commentaires

Les surveillants de chantier, dégagent certains points qui méritent d'être pris en considération, pour améliorer dans le futur, un second projet de recyclage (4). Les voici:

"Nous avions prévu certaines difficultés au niveau de la fabrication du mélange, mais cette phase des travaux s'est déroulée de façon satisfaisante..."

"... pour les projets futurs, on devra également trouver une façon pratique de récupérer le revêtement sans ramasser trop de gravier provenant de la fondation supérieure."

"Il serait aussi souhaitable de ne pas débiter la production du mélange avant d'avoir complété le concassage du vieux pavage surtout si cet ancien pavage n'est pas homogène."

"Il faudrait peut-être aussi songer à employer un liant 300/400 afin de hausser la pénétration du bitume résiduel pour augmenter aussi la souplesse et l'élasticité du revêtement. Ce dernier deviendrait plus malléable et facile à poser."

"Il serait préférable que ce genre de travaux se fasse dans de meilleures conditions climatiques afin de minimiser les problèmes de température du mélange autant à l'usine que sur la route."

Certains problèmes se sont présentés lors du projet, puisqu'il s'agissait d'une première pour les entrepreneurs et responsables de la province de Québec. Si dans un avenir rapproché un second projet de recyclage peut corriger et éviter ces derniers ennuis, on ne mettra pas beaucoup de temps à maîtriser ce nouveau procédé et rejoindre le rang de nos confrères américains qui se débrouillent bien dans ce domaine.

Néanmoins, cela n'enlève pas que bien des avantages soient toujours présents. Le recyclage deviendra très avantageux dans la mesure où on le maîtrisera presque totalement pour en retirer les meilleures qualités possibles du produit attendu. Pour cette raison, les chapitres suivants traitent de certains essais faits au laboratoire pour mieux relancer les prochains projets de recyclage au Québec

4. LE RECYCLAGE DU CHANTIER AU LABORATOIRE

4,1 La théorie

Pour recycler une section de route, on doit connaître les trois éléments de base essentiels qui la composent. Ces matériaux disponibles, et à marier pour le recyclage sont:

- Le vieux pavage
- Le gravier
- Le bitume

En ce qui concerne le vieux pavage, aucune donnée n'apparaît à l'intérieur du rapport final (4). Cependant durant l'été 1978, monsieur Roland Morin (5) a effectué l'analyse de carottes prélevées sur la section de route en question. Ainsi dix-huit carottes furent analysées de telle sorte qu'on connaît maintenant la granulométrie, la teneur en bitume et les qualités du vieux bitume récupéré (tableau I, figure II)

Au niveau du gravier, certains problèmes ont été rencontrés à propos des exigences du calibre 103. Comme il a été cité antérieurement, trois bancs de gravier étaient disponibles, mais un seul se trouvait conforme à 100% selon les normes du Cahier des Charges et Devis Généraux (4), du Ministère des Transports de la province de Québec. Ces bancs étaient:

- Le banc Meilleur - non conforme aux tamis 3/4", 4, 8 et 16
- Le banc Prud'Homme - conforme
- Le banc Lacasse - conforme si on accepte un léger écart au niveau du tamis 3/4".

Le tableau II donne la granulométrie de chacun des bancs disponibles, ainsi que la moyenne. On trouve aussi l'allure des fuseaux granulométriques aux figures I, II, III et IV.

Pour les fins de calcul théorique on utilise la moyenne des trois bancs. En fait la moyenne est acceptable en ce qui regarde les exigences d'un calibre 103, si l'on accepte un léger écart, soit de 2% au niveau du tamis 3/4".

Le bitume: Le liant utilisé pour ce projet de recyclage est du type 200/300. Ces propriétés sont tabulées au tableau III. Ce bitume a été employé lors du recyclage pour des raisons bien particulières. En l'été 1978, certains essais dans une étude de recyclage (5), ont démontré qu'un bitume excessivement plus mou, tel un 300/400 ou 400/800, n'augmentait pas d'une façon significative la pénétration du bitume résiduel. De plus, lors d'un essai américain, un bitume de type 400/800 brûlait dans le tambour-malaxeur au contact de la flamme. Cette expérience eut lieu en Orégon. Peut-être que l'utilisation d'un pyrocone aurait empêché le fait que le bitume soit brûlé, mais nous ignorons si l'usine employait le procédé.

Certains essais exécutés avec un bitume 200/300 ont démontré que les propriétés du produit recyclé étaient satisfaisantes et que ce type de bitume pouvait être convenable au recyclage. De plus, par les % de vide, % de bitume, stabilités Marshall, le fluage et le V.A.M. on a désigné une teneur de 5,57% de bitume, comme étant la valeur optimum du bitume dans le mélange recyclé.

Par calcul et par vérification expérimentale on retrouvait

- 83,3% de vieux pavage
- 14,7% de nouveau granulat
- 2,0% de bitume 200/300

dans les mélanges recyclés. Bien entendu, ces dernières proportions ont été tenues stables à partir de la deuxième journée

de malaxage seulement, car il a fallu deux jours pour ajuster au meilleur possible les quantités et obtenir un bon mélange.

La granulométrie du mélange peut aussi être trouvée au moyen de calcul. Soit:

$$\begin{aligned} 83,3\% \times 5,7\% & : 4,7\% \text{ de vieux bitume} \\ 83,3\% - 4,7\% & : 78,6\% \text{ de vieux granulat} \\ 78,6\% + 14,7\% & : 93,3\% \text{ de granulat au total} \\ 100,0\% - 93,3\% & : 6,7\% \text{ de bitume au total} \end{aligned}$$

si 93,3% des granulats deviennent 100,0%
 78,6% des granulats deviennent 84,2% de vieux granulat
 14,7% des granulats deviennent 15,8% de nouveau granulat

Regardant les pourcentages cumulatifs passant, on a qu'à additionner 85% des pourcentages cumulatifs passant des vieux et 15% des nouveaux granulats. Le tableau IV possède ces calculs et à la figure VII on constate que le tout devrait bien se comporter.

La teneur en bitume est un peu trop élevée théoriquement, mais lorsqu'on discutera des résultats obtenus au laboratoire, on en verra les avantages.

Toujours en ce qui concerne le bitume, on peut estimer la pénétration du bitume résiduel en faisant la moyenne pondérée des pénétrations des bitumes du mélange. La valeur de pénétration du bitume neuf est celle d'un bitume 200/300 ayant subi une perte par évaporation. Cette dernière valeur de pénétration serait en réalité la pénétration d'un bitume récupéré après malaxage (voir tableau III)

Pourcentage de bitume neuf : 2,0% à 160 mm/10

Pourcentage de vieux bitume : 4,7% à 22 mm/10

La valeur de la pénétration du bitume récupéré du vieux revêtement est tirée des analyses effectuées par monsieur Roland Morin (5). Même après malaxage ces résultats de pénétration du vieux bitume ne devraient pas trop varier, car depuis le temps où le vieux revêtement a été posé, ce bitume a eu le temps de perdre beaucoup de ces produits volatils. On trouve ces résultats d'analyse sous forme de moyenne au tableau I.

$$\text{La moyenne : } \frac{(4,7\% \times 22) + (2,0\% \times 160)}{6,7\%} : 63 \text{ mm/10}$$

Cette dernière estimation peut s'avérer fausse, car dans certains cas, le mélange de deux bitumes différents peut amener une pénétration beaucoup plus basse en ce qui regarde le bitume résiduel. En fait, ce phénomène, encore mal connu, peut se produire en raison de la non miscibilité totale des bitumes en cause. Pour cette dernière raison, gardons-nous de ce dernier résultat théorique et nous verrons bien dans la pratique ce qui se passe.

4,2 Expérimentalement

Pour favoriser la comparaison des résultats théoriques et ceux obtenus en chantier, les deux premières journées n'ont pas été prises en considération pour le calcul des moyennes. Cette remarque faite, observons les résultats tirés du rapport final de l'automne 1978 (4) au sujet du recyclage (tableaux V et VI et figures VIII et IX).

Les proportions de vieux pavage, des granulats et bitume neufs ont été gardées très fidèlement, tel que décidé auparavant.

La granulométrie des pierres qui sont ajoutées, demeure identique à celle qui a servi pour les fins des calculs théoriques, car ce sont les mêmes résultats qui furent utilisés en théorie. La même remarque s'applique au bitume 200/300 utilisé.

A l'intérieur de ce premier projet, les techniciens en surveillance ont récupéré un bitume résiduel d'une pénétration moyenne de 43 mm/10. Cette pénétration est 32% plus basse que celle prévue en théorie. Sur des mélanges prélevés à l'usine, mais analysés par le Laboratoire Central, la pénétration était de 30 mm/10, soit 52% inférieure à la théorie. On a donc ici, un exemple frappant de la non miscibilité de deux liants. En fait, selon les données de contrôle (tirées du rapport de monsieur Roland Morin (5)), la route 311, vieille de 15 ans alors, avait été fabriquée en ce qui concerne le bitume de type 85/100 provenant des raffineries Shell. Or pour le projet, un bitume de type 200/300 des raffineries Pétro-Fina fut utilisé. Le mélange de deux bitumes ne peut pas toujours être parfait comme on le constate.

Les tableaux nous donnent la compilation des teneurs en bitume, des granulométries, stabilité, densité, vide, du fluage et des essais brésiliens. On a aussi les fuseaux granulométriques correspondant aux granulométries pour démontrer que tout est excellent au niveau des granulométries. Dans l'ensemble tout est passable si ce n'était du % de vide insuffisant selon les expertises en chantier et du fluage trop haut selon les mélanges

analysés en laboratoire. Cependant, la stabilité est très élevée. Par la formule de McLeod (6) qui nous permet de calculer le module de rigidité (équivalent au module d'élasticité), on constate que le mélange est acceptable et peut laisser le trafic lourd circuler, même par temps chaud. Selon cette dernière formule on a un module de rigidité de:

$$\text{Module de rigidité} : 40 \frac{(\text{stabilité})}{\text{fluage}} : 40 \frac{(2997)}{16} : 7493 \text{ lb/po}$$

Au chantier le module est donc de 7493 lb/po et en calculant de la même façon nous trouvons un module de rigidité de 8248 lb/po pour les mélanges analysés au laboratoire.

Les granulométries en pourcentage cumulatif passant se trouvent à être légèrement plus basse en chantier comparativement au laboratoire. Même si dans les deux cas on respecte le fuseau granulométrique pour un mélange du type MB-3, cette différence entre les deux peut être occasionnée à la disponibilité des instruments. Il est fort probable que les techniciens au chantier n'ont pas eu la possibilité d'utiliser un tamiseur électrique contrairement aux techniciens du Laboratoire Central pour faire leur granulométrie. Ainsi, un cumulatif passant peut être légèrement plus faible, tel qu'observé.

La teneur en bitume est de 5,66% et 5,60% pour le laboratoire et le chantier respectivement. Cette différence de plus de 1% par rapport au calcul théorique antérieur est heureuse. En fait un mélange de 5,57% en teneur de bitume était visé. Il y a une certaine explication. Les calculs théoriques ont été faits à partir de carottes prélevées sur la route. Or, lorsque le vieux revêtement fut scarifié pour être entreposé et ensuite concassé, un peu de gravier de la fondation supérieure fut

aussi ramassé. Ce gravier n'étant pas saturé en bitume, et les granulats n'étant pas enrobés par le liant bitumineux, un apport de bitume supplémentaire était nécessaire en théorie pour corriger l'expérience.

Comme on le constate, pour un premier projet de recyclage au Québec, les mélanges ont été d'une qualité acceptable si on considère que le fluage et le % de vide sont sauvés grâce à une très bonne densité du mélange, ainsi que d'une bonne stabilité. En général les résultats répondent au Cahier des Charges et Devis Généraux (3) du Ministère des Transports de la province de Québec, pour un mélange du type MB-3, et cela est heureux pour le projet pilote concerné.

Cependant, comme il a été souhaité, il vaut la peine d'insister encore sur des mélanges recyclés à l'aide d'un bitume de plus haute pénétration tel que le 300/400. L'influence d'un adjuvant dans les mélanges recyclés peut peut-être aussi changer les qualités du produit attendu vers un meilleur mélange final. C'est pourquoi les pages suivantes font objet des mélanges recyclés avec des bitumes 150/200, 200/300 et 300/400, avec et sans adjuvant.

5. INFLUENCE D'UN ADJUVANT DANS LES MÉLANGES RECYCLÉS

5,1 Mélange recyclé

Dans le but de pouvoir mieux comparer les résultats obtenus et les mettre à un même niveau (relatif aux manipulations et aux instruments de travail), les mélanges tels que prévus lors du projet pilote ont été refaits. On peut de cette façon prévenir certains écarts et effectuer alors les petites corrections nécessaires.

5,2 Analyse du matériel disponible

Lors du projet, le Ministère des Transports a fait le prélèvement à l'usine de vieux pavage concassé de la route 311. C'est à partir de ce même vieux pavage que nous analysons les différentes possibilités de mélanges à recycler qui nous sont offertes.

Pour cette raison, la granulométrie et la teneur en bitume de chacun des huit échantillons a été faite. En fonction des quantités restantes de matériel disponible, une moyenne pondérée est établie pour avoir un très bon aperçu des propriétés du vieux revêtement prélevé et de la pierre que nous utiliserons (tableau VII, figure X). Pour obtenir l'homogénéité du vieux pavage concassé, ce dernier fut malaxé dans un gros malaxeur à béton de ciment d'une capacité de 200 Kg. Une fois que tous les échantillons eurent été bien mélangés, on broya à nouveau le tout une seconde fois dans un malaxeur à béton bitumineux. Lorsque toutes les grosses agglomérations furent éliminées, le vieux pavage était prêt à être recyclé en laboratoire.

Cependant, on ne doit pas connaître que la granulométrie et la teneur en bitume, mais également les propriétés du vieux bitume récupéré. L'extraction de ce bitume, ainsi que toutes les extractions faites auparavant et celles qui suivront, sont faites au moyen d'un rotorex (méthode ASTM-D-2172-75-A) (7). Pour ce qui regarde la récupération du bitume, elle est effectuée par une méthode présentement utilisée par la ville de Montréal (8). Cette méthode est également toujours utilisée. Les résultats sont au tableau VI.

Le bitume ajouté lors des essais, est connu sur certains essais en particulier. Soit la pénétration, les viscosités absolues et cinématiques, la teneur en asphaltène et la perte par évaporation en couche mince. La reprise de ces derniers essais après étuvage en couche mince est faite également. On retrouve ces résultats au tableau VIII pour les bitumes 150/200 de Golden Eagle, 200/300 et 300/400 de Pétrofina.

L'adjuvant utilisé pour les essais de recyclage provient de la compagnie "Witco Chemical Corporation" (9) et du type cyclogen L. Les propriétés de ce type d'adjuvant sont au tableau IX.

5,3 Fabrication des mélanges

On ne fera pas une section de chapitre pour chacun des mélanges qui nous intéressent. Cela serait trop long et dans certains cas inutile en fonction des résultats obtenus.

Tous les mélanges peuvent se classifier en deux groupes pour l'étude en cours. Soit:

- Les mélanges recyclés sans adjuvant
- Les mélanges recyclés avec adjuvant

Tel que spécifié antérieurement, on cherche à connaître si un adjuvant ou un bitume plus mou peu influencer d'une façon appréciable, les mélanges recyclés. Pour ce faire, on garde constantes les proportions de vieux revêtement et de nouveau granulat qui ont été utilisées durant le projet. On peut ainsi comparer les résultats et optimiser les qualités du

Produit qui serait formé des mêmes proportions d'éléments à recycler.

5,3,1 Les mélanges recyclés sans adjuvant

Les essais sont faits avec des bitumes 150/200, 200/300 et 300/400. Dans des proportions de:

- 83,3% de vieux pavage concassé
- 14,7% de nouveau granulats
- 2,0% de bitume

Les nouveaux mélanges recyclés furent obtenus. Les résultats sont aux tableaux X et XI et aux figures XII, XIII et XIV en ce qui a trait aux fuseaux granulométriques. Les résultats sont discutés à la section 5,4.

5,3,2 Les mélanges recyclés avec adjuvant

Pour ajouter l'adjuvant, on doit modifier quelque peu la proportion du bitume. Or, pour ce faire, on doit connaître la quantité d'adjuvant susceptible d'influencer les propriétés du mélange. Il a été suggéré un rapport 1:100 de la teneur en bitume du mélange recyclé. Voici les calculs menant aux proportions désirées.

Calculs:

Teneur en bitume désirée 5,6%

On a $85\% \times 4,33 : 3,7\%$ de vieux bitume
 $85\% - 3,7 : 81,3\%$ de vieux granulat
 $81,3\% + 15\% : 96,3\%$ de granulat

Alors $96,3$ $94,4\%$ de granulat
 $5,7$ $5,6\%$ de bitume

Donc $5,7\% - 3,7\% : 2\%$ de bitume + adjuvant

On veut une teneur en adjuvant de 0,056%

Finalement $100,0\% - 2\% : 98,0\%$ de granulat

du 98% , 85% donne $83,3\%$ de vieux pavage
 15% donne $14,7\%$ de nouveau granulat

et 2% , $0,056\%$ donne $0,05\%$ d'adjuvant
 $1,944\%$ donne $1,95\%$ de nouveau bitume

Les résultats des mélanges obtenus à partir de ces dernières proportions sont au tableau XII et XIII pour les bitumes 150/200, 200/300 et 300/400 et aux figures XVI, XVII et XVIII pour les fuseaux granulométriques.

5,4 Analyse des résultats

Les bitumes disponibles, 150/200, 200/300 sont conformes aux exigences du Cahier des Charges et Devis généraux.

Pour le bitume 300/400, le ministère des Transports n'a pas encore tabulé de norme. Cependant, comme la pénétration est de 295, on ne répondrait pas aux exigences, mais cet écart du minimum exigé n'est que de 2%.

Pour la granulométrie des pierres qui sont ajoutées au mélange, on observe que la courbe se situe tout à fait à l'extérieur du fuseau granulométrique des limites d'un calibre 103 (figure XI). C'est sans doute dû au fait que cette pierre a été prélevée sur la courroie après être passée par le dispositif du dépoussiéreur humide de type Venturi. Le gravier alors départi de son sable ne peut faire autrement que de donner le fuseau granulométrique que nous avons. Ceci est normal si on considère que le vieux pavage n'a pas besoin d'une correction au niveau du sable, mais seulement au niveau des pierres. Ayant de plus ramassé un peu de la fondation supérieure de la route, cela a contribué au fait que le vieux pavage pouvait se suffire à lui-même au niveau du sable.

D'ailleurs, en observant les résultats granulométriques dans tous les cas, le mélange recyclé est très satisfaisant.

En ce qui regarde les autres essais tels que le fluage, le % de vide, la stabilité et la teneur en bitume, on observe encore de petits écarts, comme au chantier.

Dans presque tous les cas, le % de bitume dans le mélange est plus faible que celui qui a été désiré, soit 5,57%. Il faut dire que les briquettes de matériel recyclé au laboratoire, offrait une certaine résistance à l'extraction du bitume; après l'extraction par la méthode du Rotarex, de petites agglomérations de cailloux et de bitume pouvaient être observées, diminuant ainsi la teneur en bitume, expérimentalement. Toutefois les mélanges de type 300/400 avec et sans adjuvant offrent une teneur en bitume passablement près de la valeur désirée, principalement sans adjuvant, soit de 5,54% et de 5,77% avec adjuvant, ce qui est un peu plus élevé que 5,57%.

Dans le cas des mélanges recyclés avec un bitume 150/200, avec et sans adjuvant, la fluidité trop haute et un % de vide trop bas ne répondent pas aux exigences du Cahier des Charges et Devis Généraux (3). Heureusement, la stabilité du mélange dans ces deux derniers cas est élevée, ce qui favorise le module de rigidité et qui compense un peu ces écarts. Le module de rigidité se trouve à être de 7630 lb /po et de 7042 lb/po pour les mélanges 150/200 avec et sans adjuvant, respectivement. Dans les mélanges 200/300 avec et sans adjuvant, l'indice de fluidité est encore trop haut. La stabilité compense encore pour des valeurs du module de rigidité de 9110 lb/po et de 11135 lb/po respectivement. Finalement, le recyclage de vieux pavage avec un bitume 300/400, avec et sans adjuvant, se trouverait à être la meilleure solution possible à envisager pour les six derniers cas, car tous les essais répondent aux normes du Ministère des Transports. Telle est la raison pour que ce soit la meilleure solution au problème de recyclage.

Cependant, il serait souhaitable que la pénétration des bitumes résiduels soit un peu plus élevée dans tous les cas pour faciliter la mise en place et augmenter aussi la ductilité du produit.

On note également pour ce qui regarde la pénétration des bitumes résiduels, que l'adjuvant augmente la pénétration du bitume dans le cas du 150/200 et 200/300. L'effet est contraire pour un liant 300/400. On constate une augmentation de 23% pour le 150/200, 22% pour le 200/300 et une diminution de 10% dans le cas du 300/400. Si l'on constate que l'adjuvant influence le bitume résiduel de telle sorte que la pénétration augmente de 20% et un peu plus pour les deux types de bitume, soit 150/200 et 200/300, il n'en est pas de même pour le type 300/400. Il est alors possible de croire que l'adjuvant et un bitume très mou tel le 300/400 puissent faire un mélange qui lors du malaxage s'oxyde un peu plus facilement que pour les deux autres types.

Si maintenant on regarde les valeurs de pénétration des trois groupes de bitume, sans trop tenir compte de l'adjuvant, le phénomène semble bizarre. De fait le type 150/200 offre un bitume résiduel un peu plus mou que le type 200/300, ce dernier étant le moins bon des mélanges aux essais. Deux conclusions sont possibles. En premier lieu, on peut penser à l'influence de la température de malaxage. Monsieur Richard Langlois a déjà démontré dans un rapport (10) que la pénétration peut varier en fonction des deux paramètres que représentent le temps et la température de malaxage. Il est bien entendu que la ductilité, la viscosité et le % d'asphaltène, s'en trouvent tous affectés. Comme deuxième solution, on

précisait antérieurement que le bitume 150/200 provenait des raffineries Golden Eagle et les deux autres types, des raffineries Pétrofina. Comme le bitume qui fut utilisé pour fabriquer le vieux pavage était un type 85/100 de Shell, on peut, si tel est le cas, assister à un très bon exemple de miscibilité différente de divers types de bitume.

Pour ce qui est des viscosités, l'adjuvant a eu les mêmes influences que sur la pénétration. La viscosité a diminué pour les types 150/200 et 200/300 par la présence de l'adjuvant et augmenté pour le type 300/400.

Le pourcentage d'asphaltène se trouve à être légèrement influencé par la présence ou non d'un adjuvant. L'adjuvant favorise donc le fait que nous retrouvons un peu moins d'asphaltène dans ce cas. C'est du moins les constatations pour les mélanges 150/200 et 200/300. Les mêmes constatations ne sont pas valables pour le type 300/400. Les pénétrations s'abaissant avec l'adjuvant et les viscosités devenant plus grandes témoignent de cette dernière assertion, car en général ces observations vont de paire avec l'augmentation de la teneur en asphaltène.

En somme, on peut retenir que pour un mélange à recycler sans adjuvant, l'utilisation d'un bitume 300/400 est tout particulièrement recommandé.

Cependant, si l'utilisation d'un adjuvant est possible, le rapport 1:100 de la teneur en bitume total, ne semble pas influencer favorablement un bitume qui est déjà très mou. Seulement, pour les types de bitume 150/200 et 200/300, l'adjuvant ajouté dans ces proportions semble être une bonne mesure.

Si on veut maintenant hausser la pénétration du bitume résiduel d'une façon très considérable, on peut suivre les recommandations de la compagnie Witco Chemical Corporation pour connaître les quantités désirables d'adjuvant. D'ailleurs le chapitre suivant donne les recommandations en ce sens.

6. AUGMENTATION CONSIDERABLE DES PENETRATIONS

6,1 Détermination de la teneur en bitume

Une façon simple permet de connaître la teneur optimum en bitume d'un mélange bitumineux. Soit par:

- La formule de Lero (11)

qui est très simple d'utilisation; il s'agit de connaître le total granulométrique des tamis 3/4", 1/2", 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100 et 200, le total granulométrique étant la somme des pourcentages cumulatifs passant chacun de ces tamis; ensuite additionner 120 et diviser par 100.

Formule de Lero:
$$\frac{\text{total granulométrique} + 120}{100} : \% \text{ bitume}$$

Une autre façon de connaître le % de bitume optimum du mélange qui nous intéresse, existe mais elle est plus longue. Il s'agit d'effectuer plusieurs essais avec différentes teneurs en bitume, et en fonction des % de vide, V.M.A., stabilité et du poids unitaire, on peut trouver cette valeur. On peut trouver cette méthode avec plus de détails dans "Dosage et Analyse des Mélanges Bitumineux" (12).

6,2 Estimation de la quantité d'adjuvant

La compagnie Witco Chemical Corporation offre trois types d'adjuvant pouvant rajeunir les vieux pavages après recyclage. Il y a les types suivants:

- Cyclogen H
- Cyclogen M
- Cyclogen L

Pour connaître la quantité d'adjuvant à ajouter au mélange la compagnie offre une façon simple d'estimer cette valeur au moyen d'un graphique. Voici la marche à suivre:

- 1) Prendre le graphique suggéré (figure XVIII)
- 2) Déterminer la viscosité absolue à 140°C du bitume récupéré du vieux revêtement
- 3) Déterminer la viscosité absolue désirée du bitume récupéré après le recyclage du vieux revêtement.
- 4) Déterminer l'adjuvant pouvant le mieux satisfaire les résultats attendus.
- 5) Sur le graphique, tracer une droite reliant la viscosité du bitume récupéré du vieux pavage à la viscosité de l'adjuvant choisi.
- 6) Tracer une droite horizontale reliant la viscosité du bitume récupéré après recyclage (viscosité désirée)
- 7) A l'intersection des deux droites tracées en 5) et 6), abaisser une droite verticale.

- 8) L'intersection de cette dernière droite avec l'abscisse détermine le pourcentage d'adjuvant nécessaire dans le mélange à recycler.

6,3 Estimation de la pénétration du bitume résiduel

Il est aussi possible d'évaluer la pénétration du bitume résiduel du mélange recyclé. D'une façon semblable à celle utilisée pour déterminer la quantité d'adjuvant nécessaire il faut se référer à un second graphique. Voici la marche à suivre:

- 1) Prendre le graphique suggéré (figure XIX)
- 2) Déterminer la pénétration du bitume récupéré du vieux revêtement
- 3) Déterminer la teneur en bitume du vieux revêtement
- 4) Identifier sur le graphique, le point X correspondant aux coordonnées de 2) et 3)
- 5) Tracer une droite passant par le point X et l'origine de l'adjuvant choisi
- 6) Tracer une droite verticale au pourcentage optimum choisi pour la teneur en bitume du mélange.
- 7) Tracer une droite horizontale à partir de l'intersection des droites 5) et 6).
- 8) L'intersection de la droite 7) et l'ordonnée, nous donne une évaluation de la pénétration du bitume résiduel.

7. CONCLUSION

L'analyse des résultats a été faite tout au long de cette présente étude, et l'on ne fera que soulever les points les plus intéressants, concernant les éventuelles possibilités de mélanges à recycler.

- Le rapport d'adjuvant de 1:100 de la teneur en bitume semble avoir un effet positif dans les mélanges recyclés si un type de bitume 150/200 ou 200/300 est utilisé.
- Le bitume 300/400 ajouté dans les proportions gardées durant l'étude semble donner un mélange très acceptable pour être utilisé comme bitume neuf sans adjuvant.
- Lors des malaxages et fabrication des mélanges, les granulats sont passablement difficiles à enrober.
- Les mélanges recyclés présentent un aspect terne après malaxage et compactage.
- Il serait souhaitable que la pénétration du bitume résiduel soit augmenté d'une quelconque façon. L'utilisation d'un plus haut pourcentage en teneur de cyclogen est suggéré par la compagnie Witco Chemical Corporation.

En somme, le recyclage s'oriente présentement d'un pied ferme dans la province de Québec. Si l'on sait mettre en évidence les avantages disponibles. Dans quelques années nous saurons bien parler de nouveaux procédés avec nos confrères américains et le recyclage sera chose courante.

8. BIBLIOGRAPHIE

- 1), *Nouveau Petit Larousse, Librairie Larousse, Paris, 1972, page 869.*
- 2), *Cahier des Charges et Devis Généraux, Ministère des Transports du Québec, Matériaux, partie II, section 16.*
- 3), *Cahier des Charges et Devis Généraux, Ministère des Transports du Québec, Matériaux, partie II, section 14.*
- 4), *Rapport Final, Recyclage de Pavage, Contrat No. 776-1912-8, (disponible au Laboratoire Central).*
- 5) *Morin, Roland; Expérience sur le Recyclage des Bétons Bitumineux, Ministère des Transports du Québec, (disponible au Laboratoire Central.*
- 6) *McLeod,: Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of Canadian Technical Asphalt Association, volume XVI, novembre 1971, page 58.*
- 7), *1978 Annual Book of ASTM Standards, part 15, U.S.A. page 581.*
- 8), *Montreal Method for Recovery of Asphalt from Bituminous Mixtures, Control and Research Laboratory Department of Publics Works, novembre 1962.*
- 9), *Recycling of Substandard or Deteriorated Asphalt Pavement - A guideline for Design Procedures, par Witco Chemical Corporation, février 1977, San Antonio, Texas.*

- 10) Langlois, Richard; Influence des Températures du malaxage, Présenté au XIXe Congrès de la Canadian Technical Asphalt Association, novembre 1974.
- 11), Proceedings of the Eighteenth Annual Conference of Canadian Technical Asphalt Association, volume XVIII, novembre 1973, page 5.
- 12) Hode Keyser; Dosage et Analyse des Mélanges Bitumineux, publié par l'Association Québécoise des Techniques Routières Inc. Montréal, 1967, page 49.

TABLEAUX

GRANULOMÉTRIE

Tableau I - Analyse des carottes prélevées sur la route 311

échantillon	% bitume	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	total granulométrique
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
\bar{X}	5,70	100	85	73	56	45	35	26	16	9	5,0	449,6
σ	0,40	0,0	3,3	3,0	2,3	1,9	1,2	1,0	0,7	0,7	0,7	12,01

Analyse du bitume de ces carottes

	N	X	O
Pénétration (mm/10) :	8	22	3
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	6	1298,0	58,1
Ductilité (cm) :	9	-7	3

GRANULOMÉTRIE

Tableau II - % cumulatif passant - Bancs disponibles et moyenne

échantillon	% bitume	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	total granulométrique
- Meilleur												
N	--	5	5	--	5	5	5	--	5	5	5	-----
\bar{X}	--	98	83	--	63	52	41	--	10	5	2,2	-----
σ	--	1,5	5,1	--	6,8	7,4	6,8	--	2,2	0,6	0,4	-----
- Prud'Homme												
N	--	32	33	33	33	--	33	--	33	33	33	-----
\bar{X}	--	100	84	74	60	--	35	--	15	9	5,5	-----
σ	--	0,5	4,4	5,4	5,5	--	5,6	--	3,1	2,0	1,5	-----
- Lacasse												
N	--	5	5	--	5	5	5	--	5	5	5	-----
\bar{X}	--	97	77	--	49	37	26	--	9	6	3,0	-----
σ	--	1,9	7,2	--	9,0	7,9	5,1	--	1,2	0,5	0,5	-----
- Moyenne												
N	--	3	3	--	3	--	3	--	3	3	3	-----
\bar{X}	--	98	81	--	57	--	34	--	11	7	3,6	-----
σ	--	1,5	3,8	--	7,4	--	7,5	--	3,2	2,1	1,7	-----

Tableau III - Propriétés du bitume 200/300 - Projet

	N	\bar{x}	σ
Pénétration (mm/10) :	16	200	10,2
Viscosité absolue (poises) :	16	429,8	10,1
Viscosité cinématique (mm ² /sec) : ..	15	207,0	2,5
Point d'éclair (°C) :	11	+ 450	-----
T.F.O.T. (%) :	16	80	8,8

GRANULOMÉTRIE

Tableau IV - % cumulatif passant - Calcul théorique

échantillon	% bitume	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	total granulométrique
- Carottes												
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
\bar{X}	5,70	100	85	73	56	45	35	26	16	9	5,0	449,6
σ	0,40	0,0	3,3	3,0	2,3	1,9	1,2	1,0	0,7	0,7	0,7	12,01
- Pierre												
N	--	3	3	--	3	--	3	--	3	3	3	-----
\bar{X}	--	98	81	--	57	--	34	--	11	7	3,6	-----
σ	--	1,5	3,8	--	7,4	--	7,5	--	3,2	2,1	1,7	-----
- Carottes (85 %) + - Pierre (15 %)												
\bar{X}	4,85	100	84	--	57	--	35	--	16	9	4,8	-----
σ	0,34	0,2	3,4	--	3,1	--	2,1	--	1,1	0,9	0,9	-----

GRANULOMÉTRIE

Tableau V - % cumulatif des mélanges - Chantier et laboratoire

échantillon	% bitume	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	total granulométrique
- Chantier												
N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
\bar{X}	5,60	98	79	69	56	47	38	28	18	10	5,4	446,9
σ	0,28	1,8	4,2	4,5	4,0	3,1	2,2	1,8	1,0	0,7	0,4	22,0
- Laboratoire												
N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
\bar{X}	5,66	100	85	76	62	53	42	32	20	11	5,9	485,5
σ	0,21	1,1	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	0,8	0,8	0,4	0,2	11,7

Tableau VI - Propriétés des mélanges - Chantier et laboratoire

	N	\bar{X}	σ
<u>Vieux mélange</u>			
Pénétration (mm/10) :	8	21	---
Viscosité absolue (poises) :	8	58817	---
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	8	1262	---
<u>Mélange au chantier</u>			
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : ...	6	2997	581,4
Densité brute :	6	2,434	0,010
Densité maximum :	29	2,468	0,019
Fluage (0,01") :	6	16	1,8
% vide :	6	1,4	0,7
<u>Mélange prélevé pour le laboratoire</u>			
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : ...	5	3299	466,1
Stabilité Marshall après trempage (lbs) : ...	5	2638	370,7
Essai Brésillien avant trempage (psi) :	5	453	21,3
Essai Brésillien après trempage (psi) :	5	287	22,9
Densité brute :	20	2,418	0,011
Densité maximum :	20	2,468	0,011
Fluage avant trempage (0,01") :	5	16	1,8
Fluage après trempage (0,01") :	5	20	1,8
% vide :	20	2,2	0,6

GRANULOMÉTRIE

Tableau VII - % cumulatif passant - Moyenne pondérée du vieux revêtement prélevé et de la pierre

échantillon	% bitume	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	total granulométrique
- Vieux revêtement												
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
\bar{X}	4,33	100	90	82	68	57	45	33	21	11	5,8	512,7
σ	0,70	0,5	2,4	2,9	3,0	2,9	2,8	2,1	1,5	1,0	0,8	18,1
- Pierre												
\bar{X}	---	90	36	16	10	8	7	6	5	3	1,4	182,4

Tableau VIII - Propriétés des bitumes 150/200, 200/300 et 300/400

	N	\bar{X}	σ
<u>Bitume 150/200 de Golden Eagle</u>			
Pénétration (mm/10) :	2	174	2,1
Viscosité absolue (poises) :	1	712,7	5,0
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	2	234,6	4,2
T.F.O.T. (% perte) :	4	0,98	0.04
Pénétration sur T.F.O.T. (mm/10) :	2	100	2,1
Viscosité absolue sur T.F.O.T. (poises) :	1	1587,9	1,5
Viscosité cinématique sur T.F.O.T. (mm ² /sec) : ..	2	309,8	8,9
% asphaltène :	2	10,01	1,17
<u>Bitume 200/300 de Pétro-Fina</u>			
Pénétration (mm/10) :	1	203	---
Viscosité absolue (poises) :	1	500,6	2,0
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	1	226,1	4,6
T.F.O.T. (% perte) :	3	0,04	0,01
Pénétration sur T.F.O.T. (mm/10) :	2	145	2,1
Viscosité absolue sur T.F.O.T. (poises) :	1	809,4	2,5
Viscosité cinématique sur T.F.O.T. (mm ² /sec) : ..	1	329,8	---
% asphaltène :	2	8,83	0,05
<u>Bitume 300/400 de Pétro-Fina</u>			
Pénétration (mm/10) :	1	295	1,2
Viscosité absolue (poises) :	1	307,9	6,2
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	2	170,1	2,1
T.F.O.T. (% perte) :	7	0,0004	0,0004
Pénétration sur T.F.O.T. (mm/10) :	1	186	1,5
Viscosité absolue sur T.F.O.T. (poises) :	1	489,5	5,0
Viscosité cinématique sur T.F.O.T. (mm ² /sec) : ..	2	216,5	1,3
% asphaltène :	2	6,28	0,66

Tableau IX - Spécification de l'adjuvant - Cyclogen L

Pour connaître les propriétés de l'adjuvant, la compagnie Witco Chemical suggère d'utiliser les essais suivants :

Viscosité cinématique à 60 °C (mm²/sec) ...ASTM D 2170-74
 Point d'éclair, COC, en °C ...ASTM D 92-72
 Volatibilité ...ASTM D 1160-61, 10 mm
 Compatibilité, N/P ...ASTM D 2006-70
 Composition chimique (N+A₁)/(P+A₂) ...ASTM D 2006-70
 Densité relative ...ASTM D 70-72

L'adjuvant doit aussi répondre à certaines normes de la compagnie, soit :

Viscosité cinématique ... 80-500
 Point d'éclair ... 177 °C minimum
 Volatibilité IBP ... 149 °C minimum
 2 % ... 191 °C minimum
 5 % ... 210 °C minimum
 Compatibilité ...0,5 minimum
 Composition chimique ... 0,2 - 1,2
 Densité relative ... ---

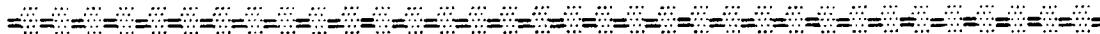


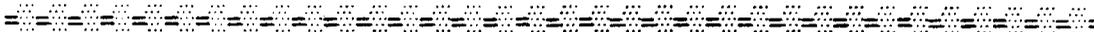
Tableau X - Propriétés des mélanges 150/200, 200/300 et 300/400

	N	\bar{X}	σ
<u>Mélanges avec du 150/200 de Golden Eagle</u>			
Pénétration (mm/10) :	2	27	2,8
Viscosité absolue (poises) :	1	97343,9	5189,7
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	2	1148,1	110,4
% asphaltène :	2	20,25	0,68
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : .	3	3815	301,7
Stabilité Marshall après trempage (lbs) : .	2	2718	319,6
Essai Brésillien avant trempage (psi) : ..	3	477	1,5
Essai Brésillien après trempage (psi) : ..	2	355	12,0
Fluage avant trempage (0,01") :	3	20	1,3
Fluage après trempage (0,01") :	3	21	0,3
Densité brute :	12	2,431	0,015
Densité maximum :	--	2,473	---
% vide :	--	1,7	---
<u>Mélange avec du 200/300 de Pétro-Fina</u>			
Pénétration (mm/10) :	2	18	1,4
Viscosité absolue (poises) :	1	1133456,9	0,0
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	1	6624,4	0,0
% asphaltène :	2	25,34	0,54
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : .	3	4783	185,7
Stabilité Marshall après trempage (lbs) : .	2	4639	372,6
Essai Brésillien avant trempage (psi) : ..	3	378	47,7
Essai Brésillien après trempage (psi) : ..	3	377	12,8
Fluage avant trempage (0,01") :	3	21	2,4
Fluage après trempage (0,01") :	3	16	6,0
Densité brute :	12	2,399	0,013
Densité maximum :	--	2,481	---
% vide	--	3,4	---

(suite)

Tableau X - (suite)

	N	\bar{X}	σ
<u>Mélange avec du 300/400 de Pétro-Fina</u>			
Pénétration (mm/10) :	1	34	0,0
Viscosité absolue (poises) :	1	11950,7	578,7
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	2	730,8	24,4
% asphaltène :	2	17,29	0,09
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : .	3	3570	293,3
Stabilité Marshall après trempage (lbs) : .	3	2139	54,8
Essai Brésilien avant trempage (psi) : ..	3	434	8,4
Essai Brésilien après trempage (psi) : ..	3	304	18,6
Fluage avant trempage (0,01") :	3	16	0,3
Fluage après trempage (0,01") :	3	21	1,3
Densité brute :	12	2,427	0,009
Densité maximum :	--	2,466	---
% vide :	--	1,6	---



GRANULOMÉTRIE

Tableau XI - % cumulatif passant - Mélange 150/200, 200/300 et 300/400

échantillon	% bitume	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	total granulométrique
- 150/200												
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
\bar{x}	5,03	95	79	70	56	48	38	29	19	11	6,6	452,6
σ	0,04	2,0	1,5	1,5	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,2	5,5
- 200/300												
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
\bar{x}	4,75	98	81	69	55	47	37	28	19	11	6,1	450,7
σ	0,18	0,0	2,1	2,1	2,6	1,7	1,7	1,5	0,6	0,6	0,6	10,4
- 300/400												
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
\bar{x}	5,54	100	82	72	59	50	40	30	19	10	5,6	466,6
σ	0,19	0,0	1,7	1,7	1,5	2,0	1,5	1,5	0,6	0,6	0,4	7,9

Tableau XIII - Propriétés des mélanges 150/200, 200/300 et 300/400
avec adjuvant

<u>Mélange avec du 150/200 de Golden Eagle</u>	N	\bar{X}	σ
<u>avec adjuvant</u>			
Pénétration (mm/10) :	2	35	0,0
Viscosité absolue (poises) :	1	63459,9	5512,9
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	2	952,5	1,4
% asphaltène :	2	17,98	0,16
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : .	2	3345	345,1
Stabilité Marshall après trempage (lbs) : .	3	2776	173,3
Essai Brésilien avant trempage (psi) : ..	3	443	24,3
Essai Brésilien après trempage (psi) : ..	2	294	0,7
Fluage avant trempage (0,01") :	3	19	2,0
Fluage après trempage (0,01") :	3	23	1,5
Densité brute :	12	2,436	0,012
Densité maximum :	--	2,466	---
% vide :	--	1,2	---

Mélange avec du 200/300 de Pétro-Fina

<u>avec adjuvant</u>	N	\bar{X}	σ
Pénétration (mm/10) :	2	22	0,0
Viscosité absolue (poises) :	1	602849,7	0,0
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	2	3211,0	28,2
% asphaltène :	2	23,60	0,56
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : .	3	5289	300,3
Stabilité Marshall après trempage (lbs) : *	2	2616	594,7
Essai Brésilien avant trempage (psi) : ..	3	409	13,1
Essai Brésilien après trempage (psi) : ..	3	414	36,1
Fluage avant trempage (0,01") :	3	19	0,3
Fluage après trempage (0,01") :	2	21	1,4
Densité brute :	12	2,412	0,019
Densité maximum :	--	2,468	---
% vide :	--	2,3	---

(suite)

Tableau XII - (suite)

<u>Mélange avec du 300/400 de Pétro-Fina</u> <u>avec adjuvant</u>	N	\bar{X}	σ
Pénétration (mm/10) :	2	31	0,7
Viscosité absolue (poises) :	1	23257,0	991,4
Viscosité cinématique (mm ² /sec) :	2	954,8	63,1
% asphaltène :	2	19,39	0,86
Stabilité Marshall avant trempage (lbs) : .	2	3617	248,9
Stabilité Marshall après trempage (lbs) : .	2	2599	82,7
Essai Brésillien avant trempage (psi) : ..	3	437	21,1
Essai Brésillien après trempage (psi) : ..	3	292	18,6
Fluage avant trempage (0,01") :	3	15	0,6
Fluage après trempage (0,01") :	3	21	1,0
Densité brute :	12	2,425	0,007
Densité maximum :	--	2,481	---
% vide :	--	2,0	---

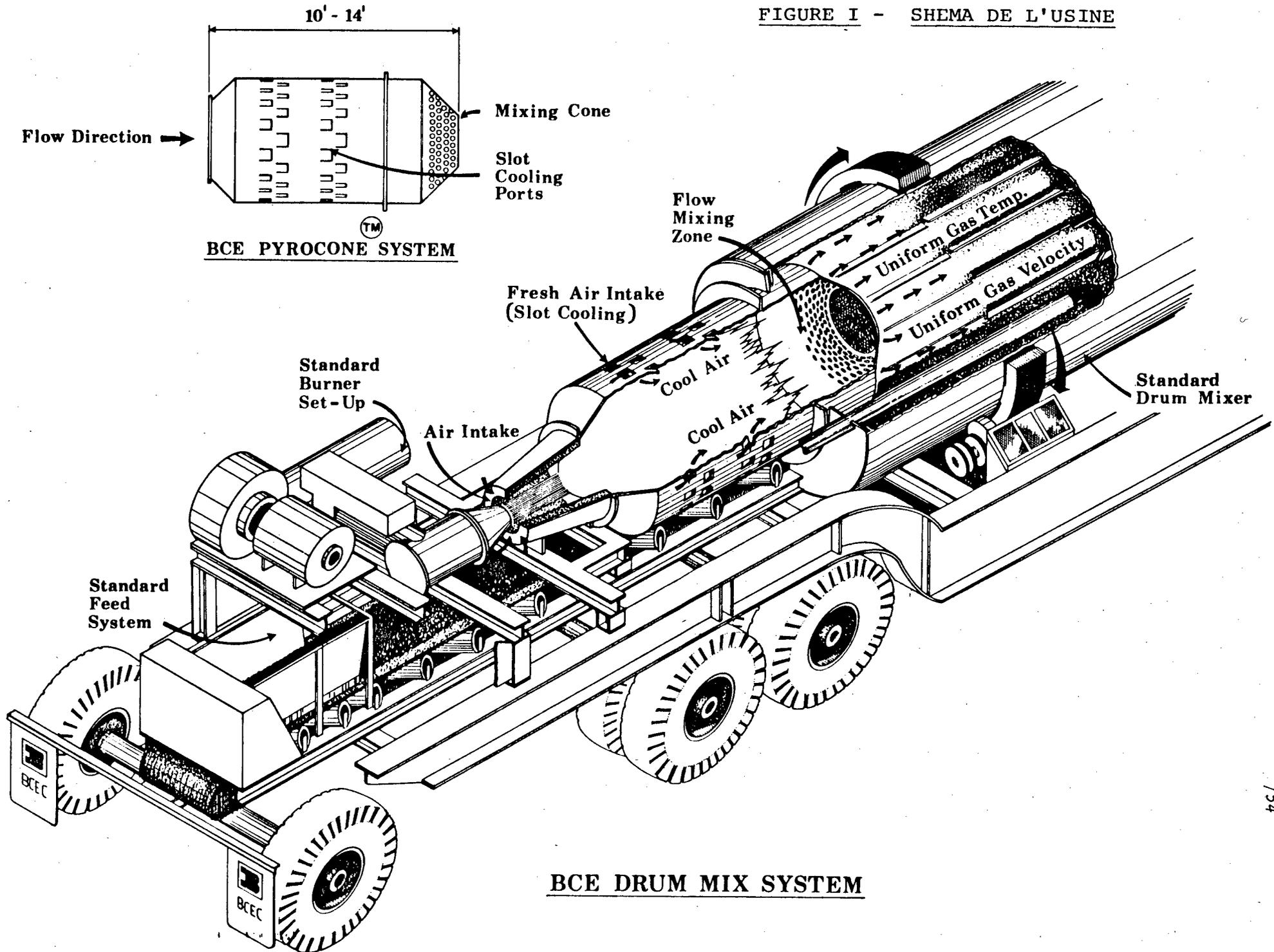
GRANULOMÉTRIE

Tableau XIII - % cumulatif passant - Mélange 150/200, 200/300 et 300/400 avec adjuvant

échantillon	% bitume	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	total granulométrique
- 150/200 + adjuvant												
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
\bar{X}	5,16	98	80	71	57	48	38	29	19	12	6,6	458,2
σ	0,27	2,1	2,9	3,1	3,0	3,0	2,1	1,0	1,0	0,6	0,3	17,8
- 200/300 + adjuvant												
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
\bar{X}	5,01	96	78	70	57	49	39	30	19	11	6,5	457,2
σ	0,13	4,6	5,5	4,6	3,1	2,3	2,1	1,7	1,2	0,6	0,5	25,5
- 300/400 + adjuvant												
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
\bar{X}	5,77	100	86	78	60	50	40	30	19	11	5,8	479,5
σ	0,17	0,0	0,0	3,1	3,2	3,8	3,6	2,6	1,0	1,0	0,4	12,6

FIGURES

FIGURE I - SHEMA DE L'USINE



BCE PYROCONE SYSTEM

BCE DRUM MIX SYSTEM

FIGURE II - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
carottes prélevées

GRANULOMÉTRIE

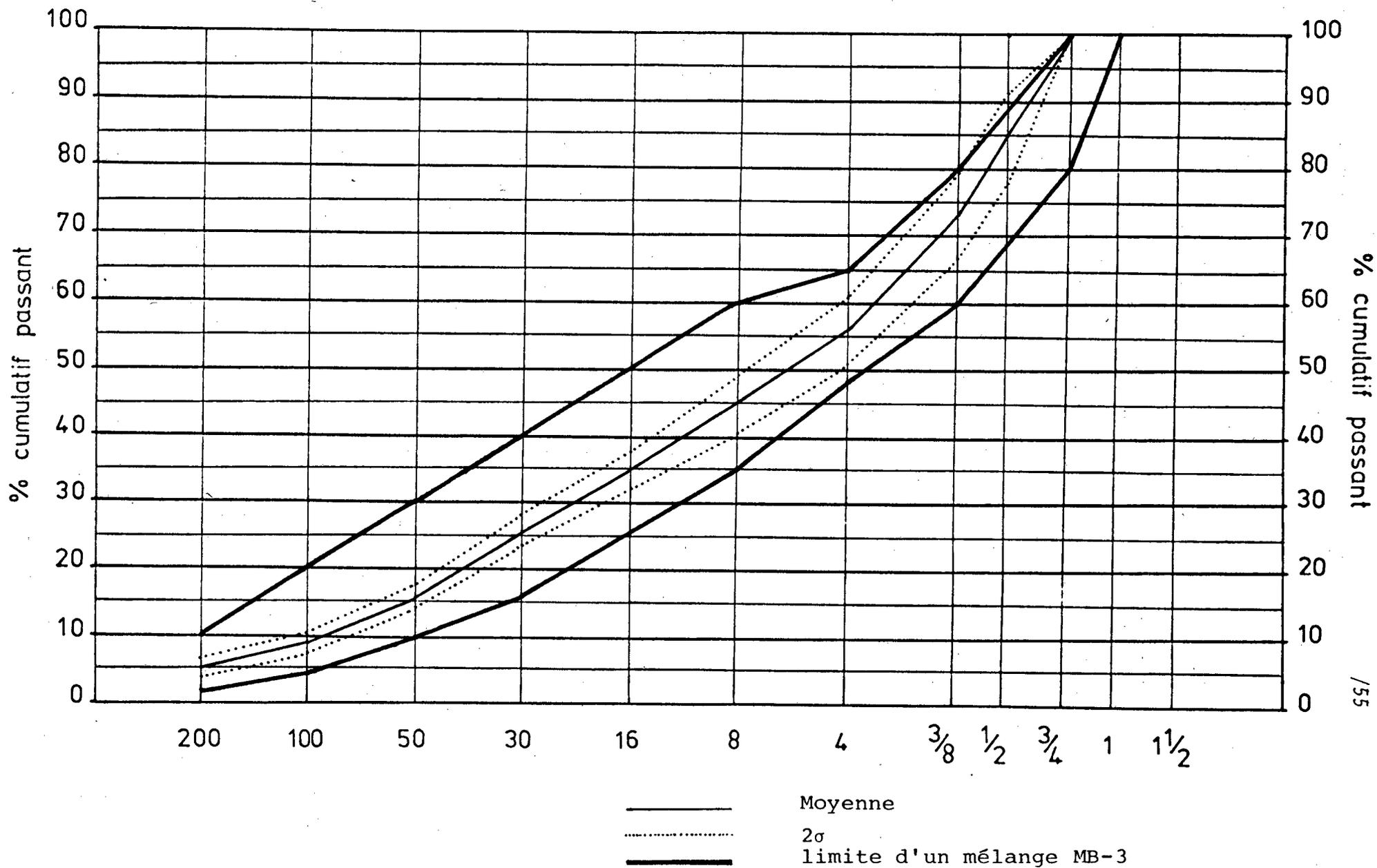


FIGURE III - FUSEAU GRANULOMETRIQUE

banc meilleur

GRANULOMÉTRIE

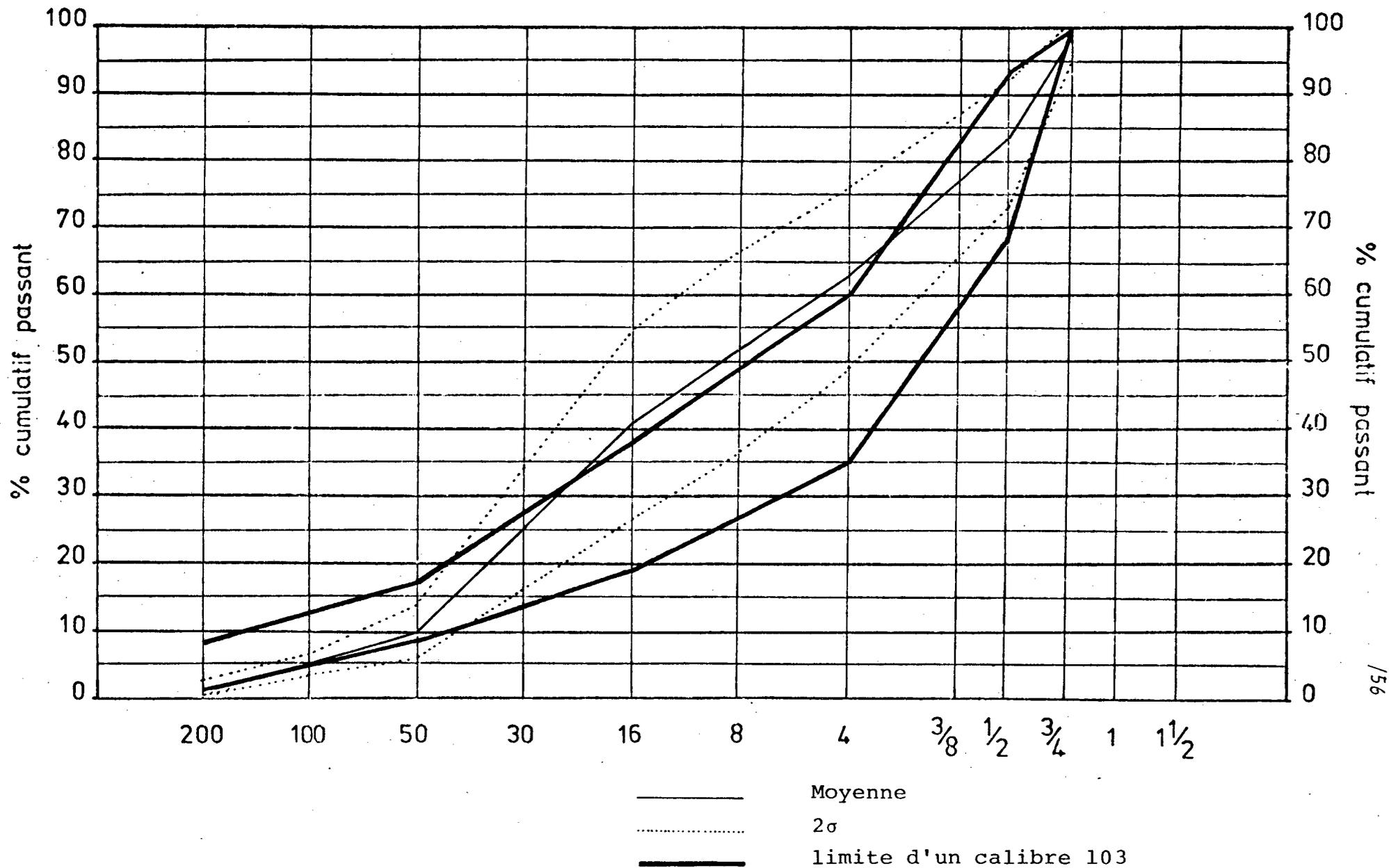


FIGURE IV - FUSEAU GRANULOMETRIQUE

banc Prud'Homme

GRANULOMÉTRIE

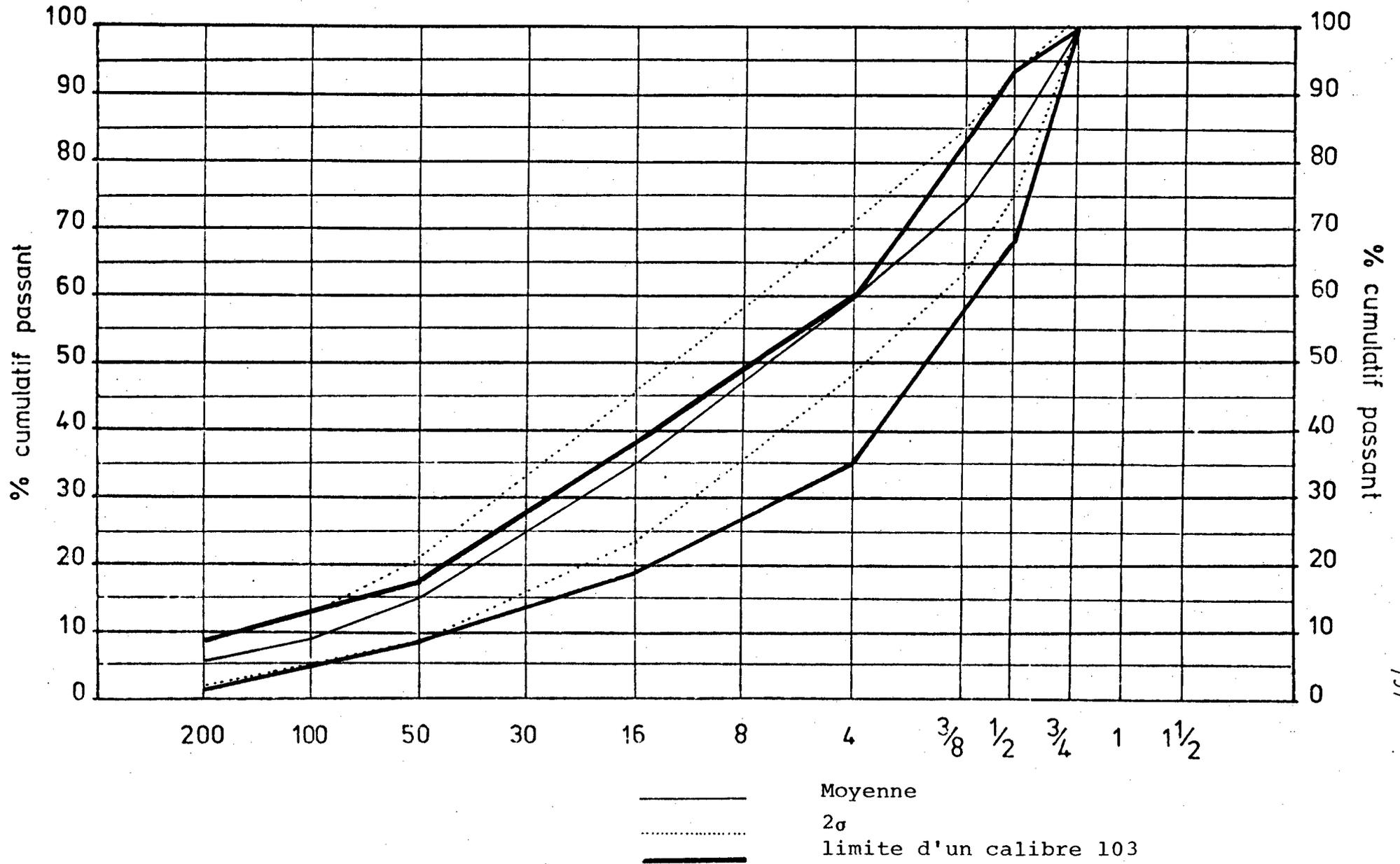


FIGURE V - FUSEAU GRANULOMETRIQUE

banc Lacasse

GRANULOMÉTRIE

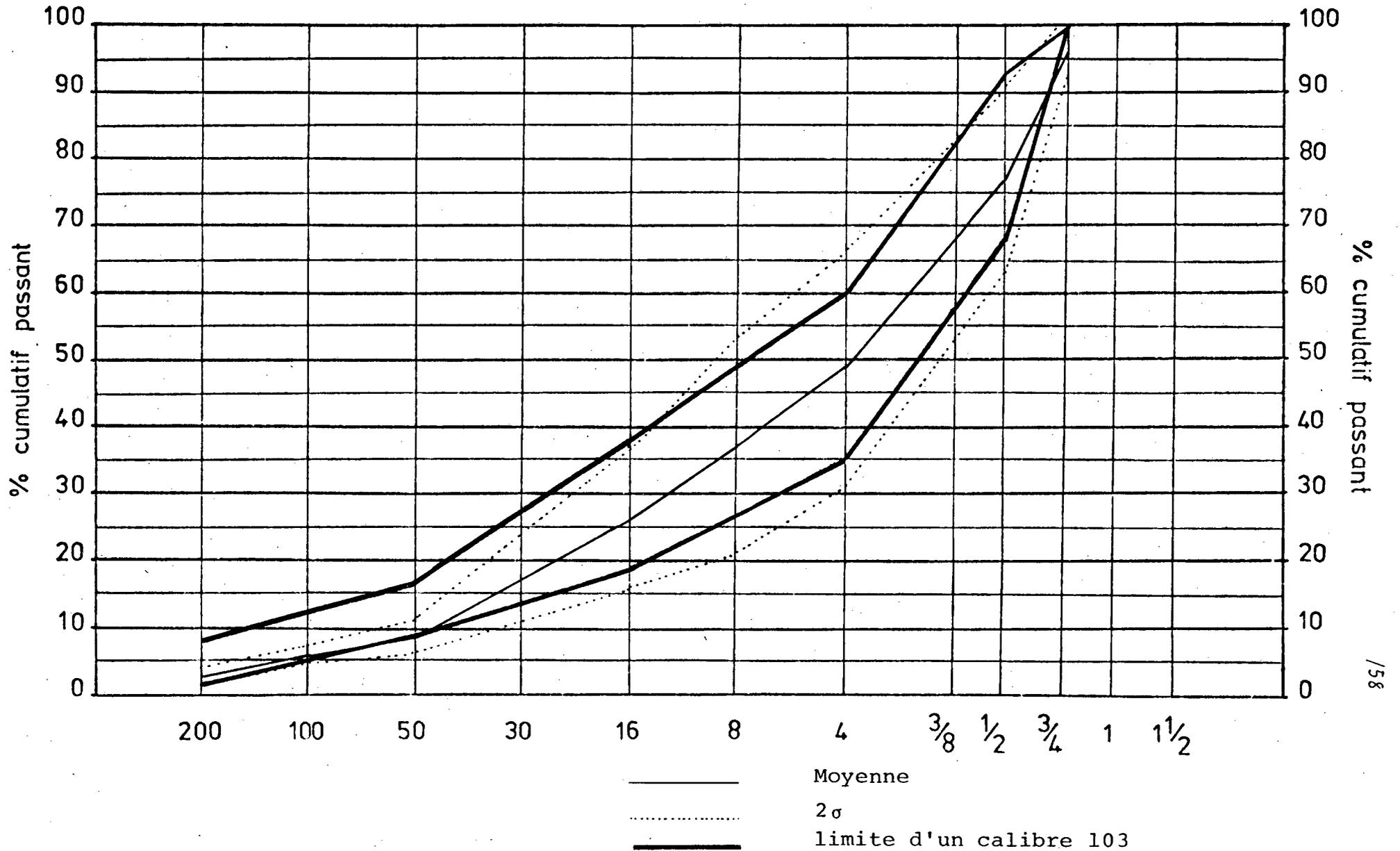


FIGURE VI - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
Moyenne des trois bancs

GRANULOMÉTRIE

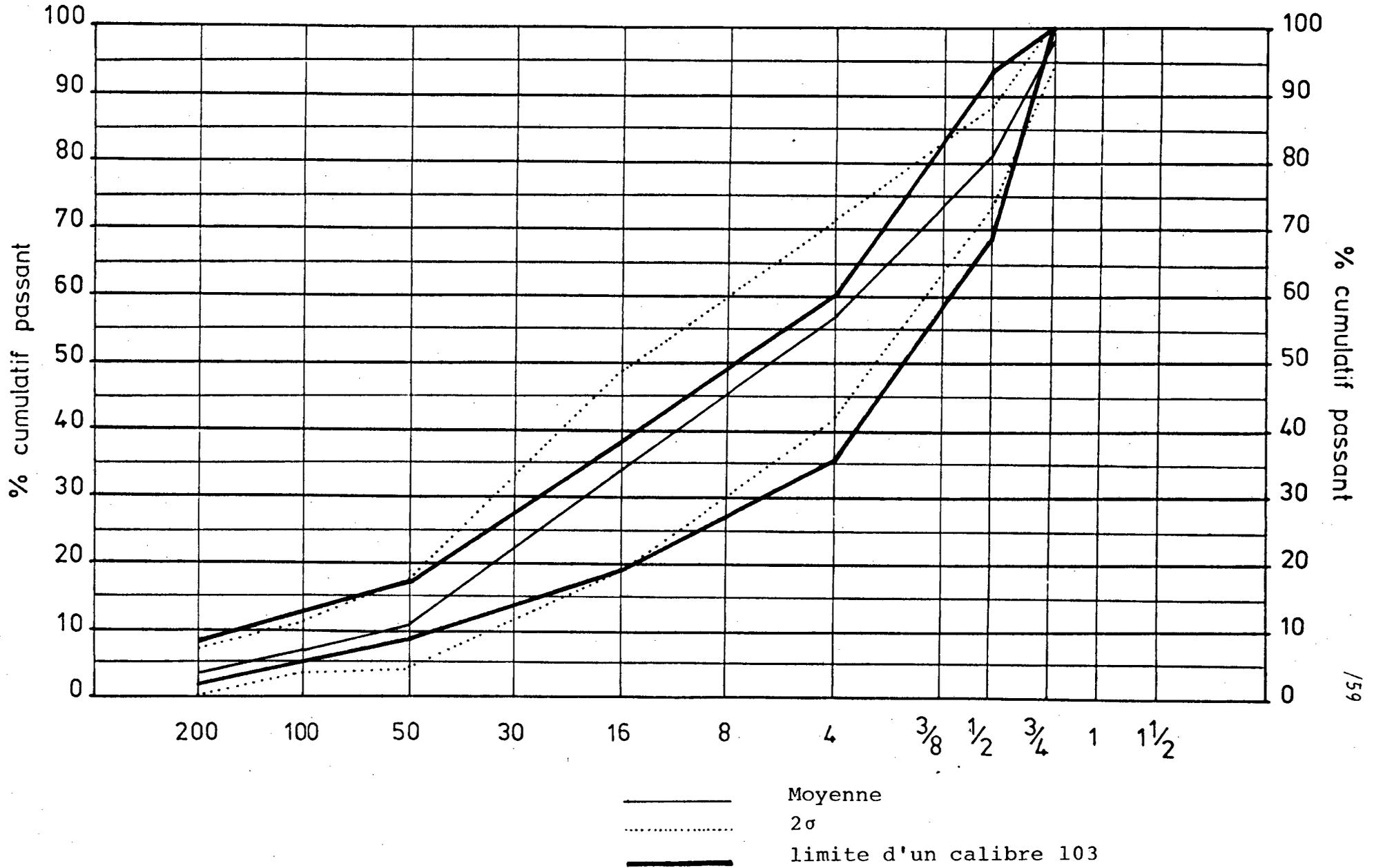
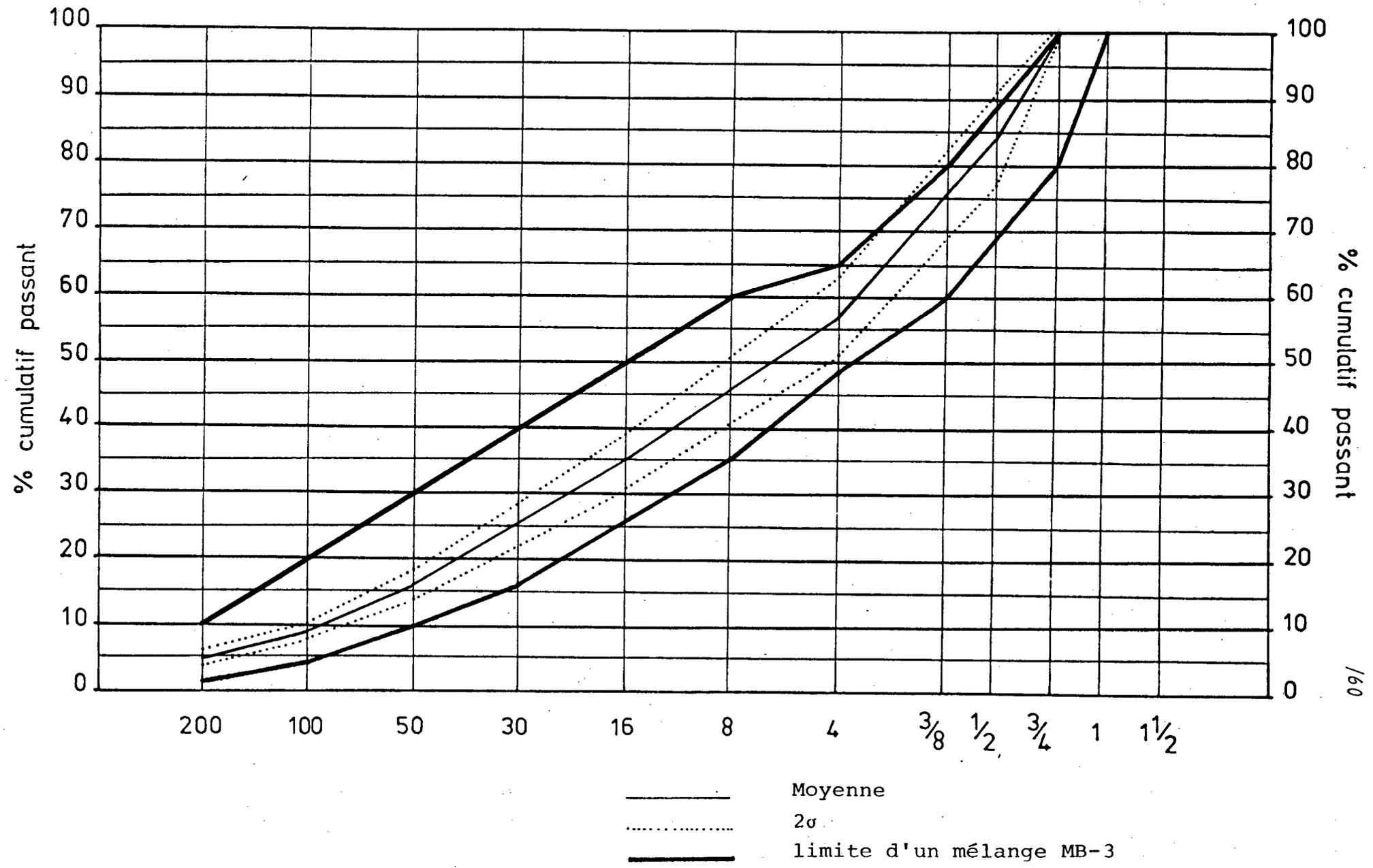


FIGURE VII - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
Théorique

GRANULOMÉTRIE



GRANULOMÉTRIE

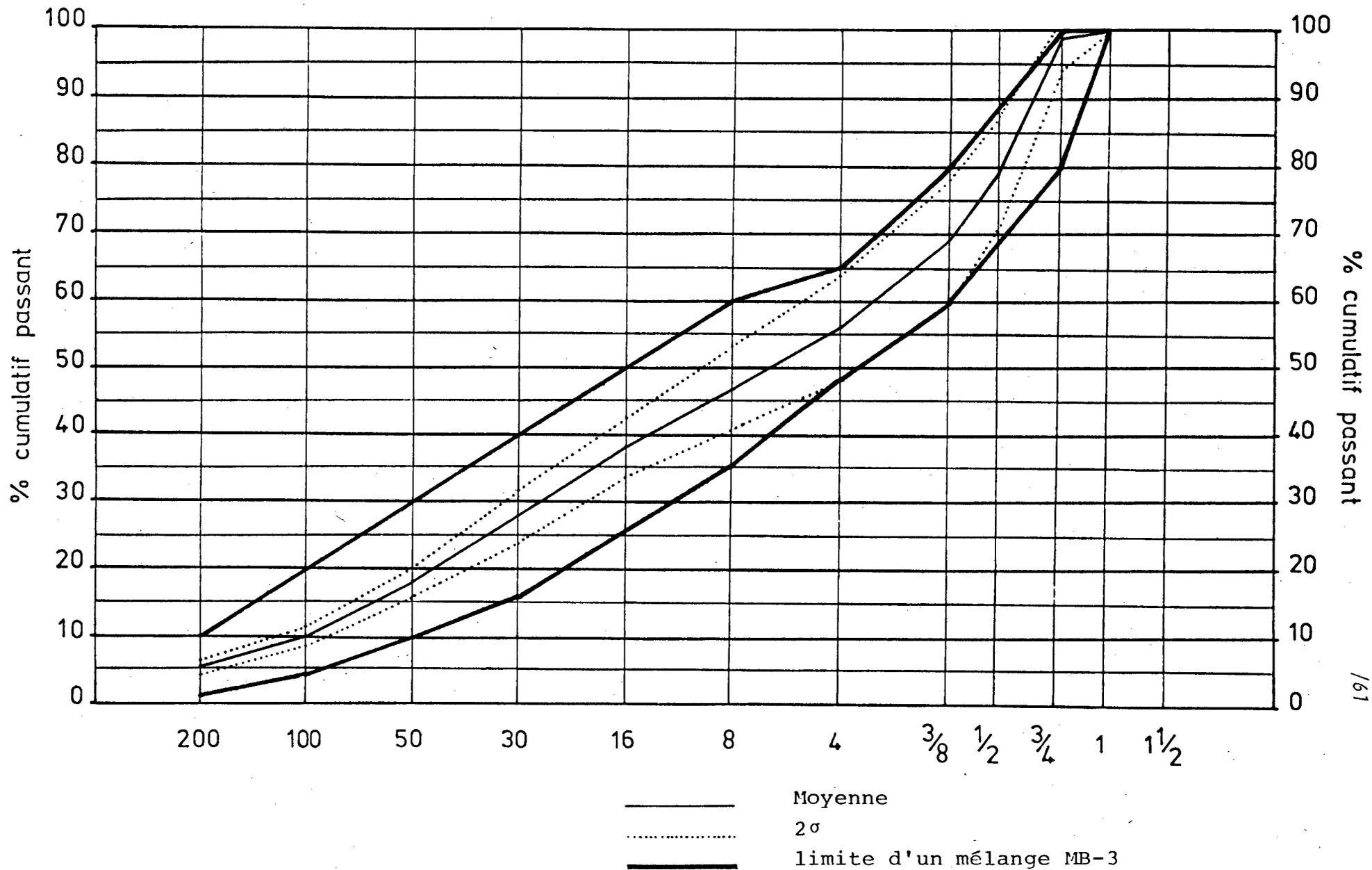


FIGURE IX - FUSEAU GRANULOMETRIQUE

Laboratoire

GRANULOMÉTRIE

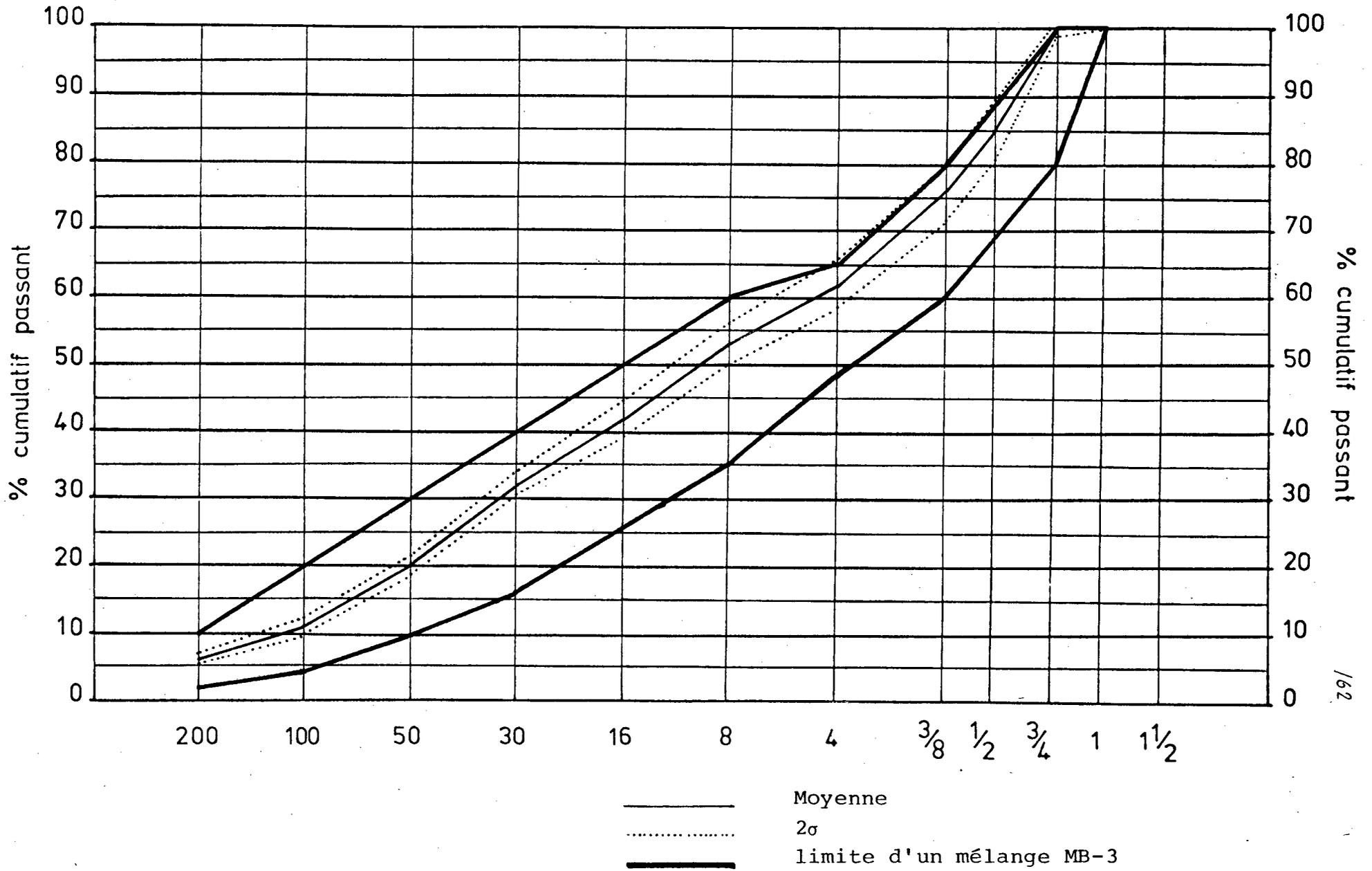


FIGURE X - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
 Moyenne pondérée du
 vieux revêtement prélevé

GRANULOMÉTRIE

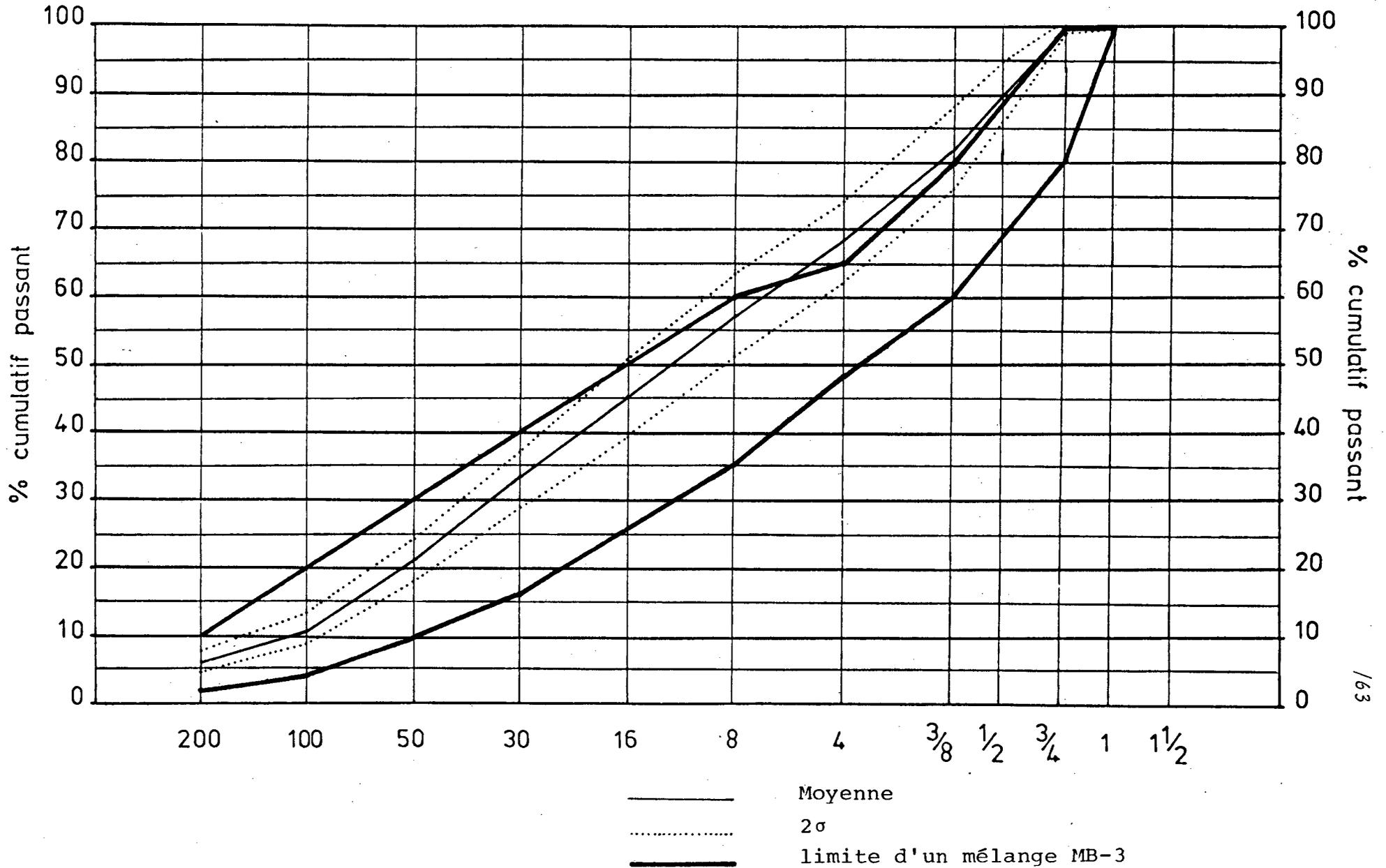


FIGURE XI - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
Pierre prélevée à l'usine

GRANULOMÉTRIE

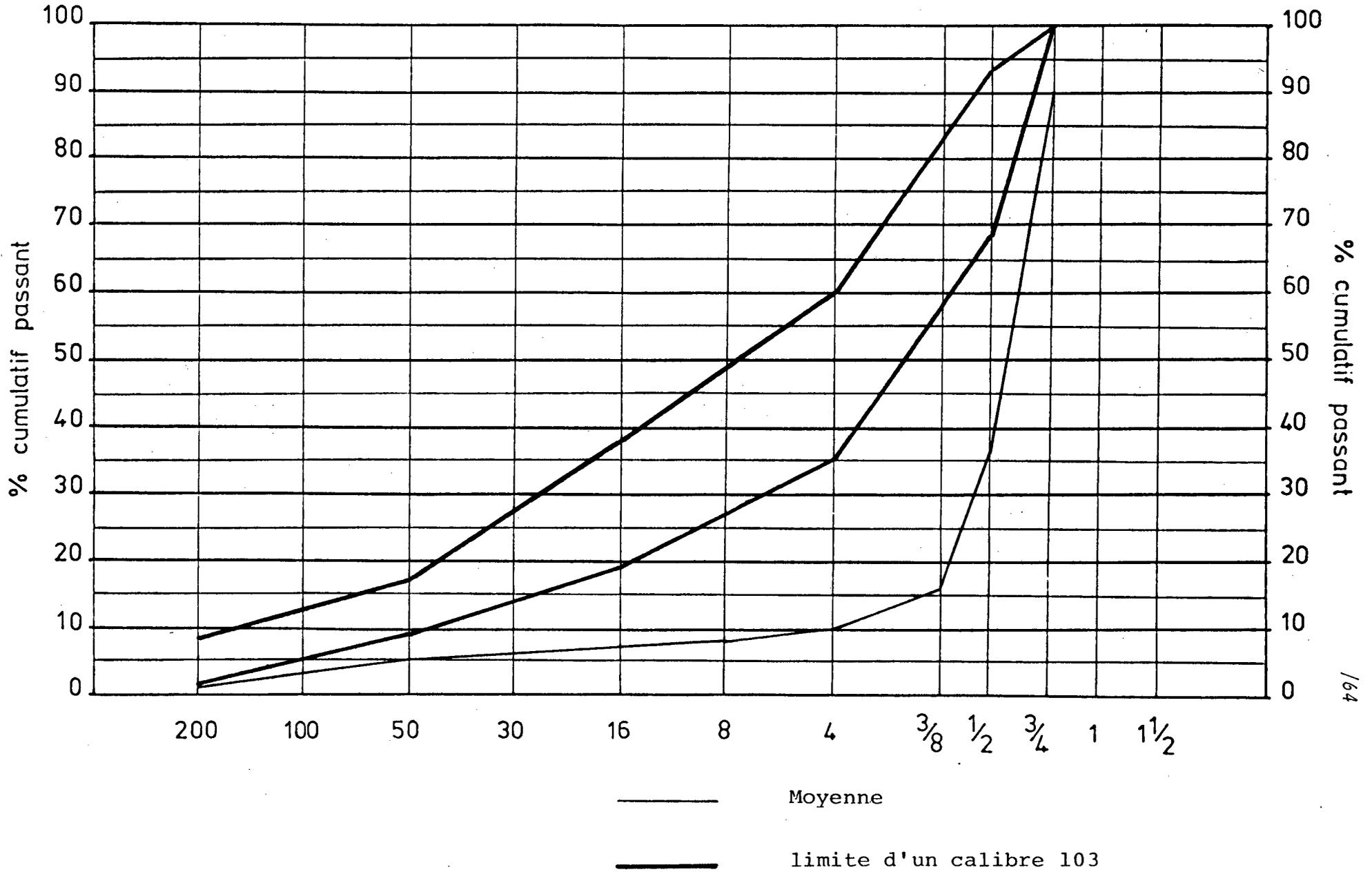


FIGURE XII - FUSEAU GRANULOMETRIQUE

mélange 150/200

GRANULOMÉTRIE

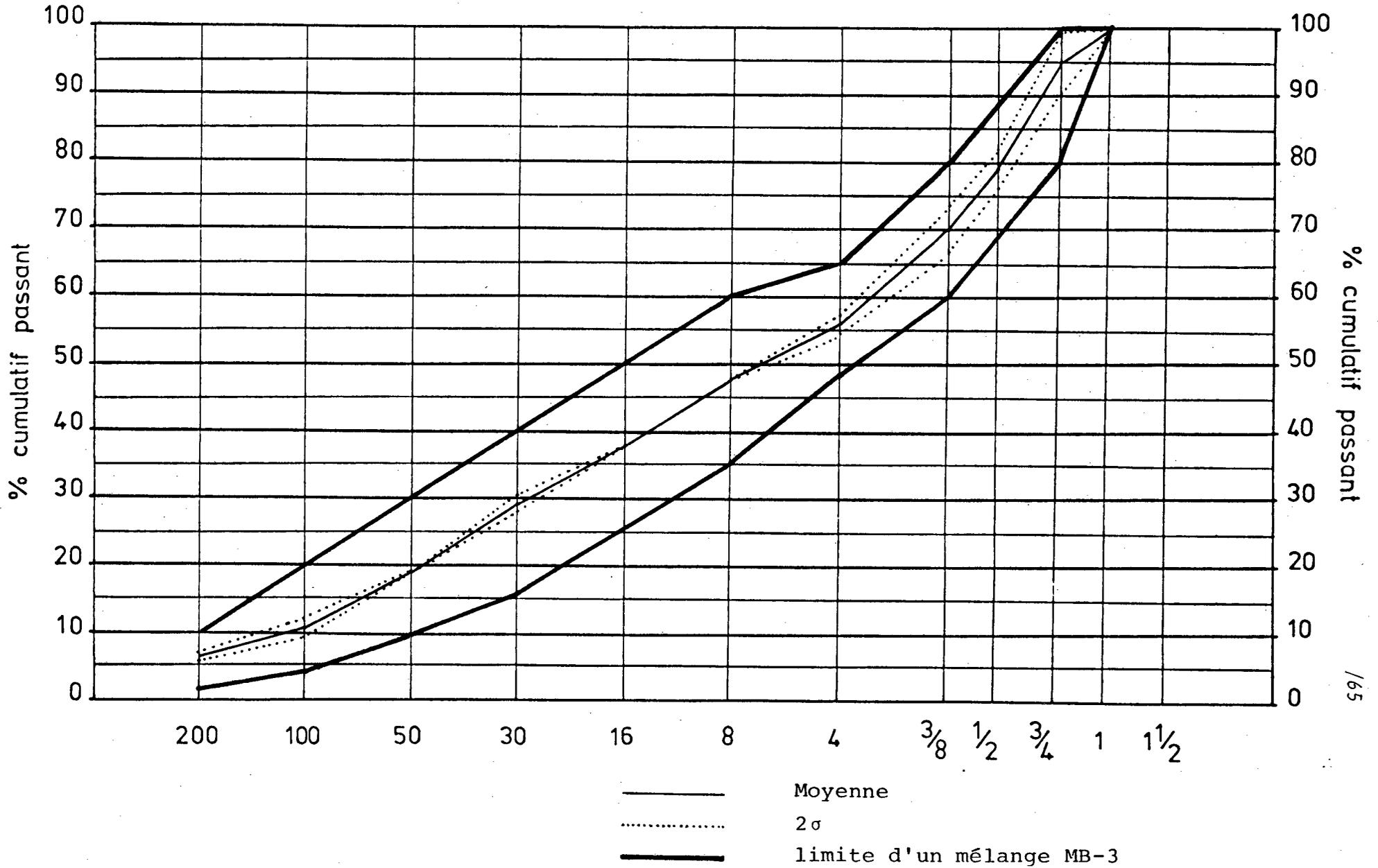
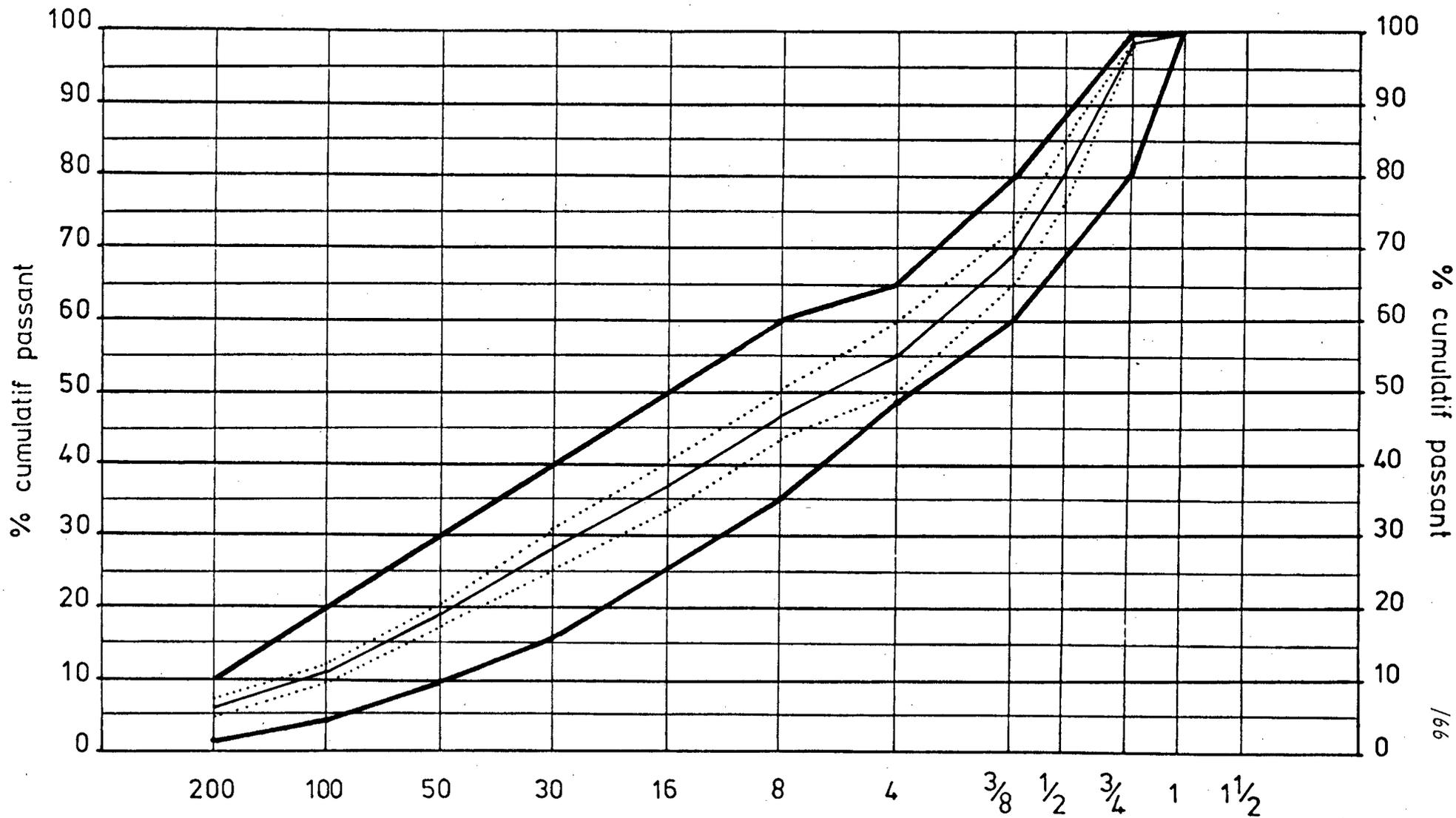


FIGURE XIII - FUSEAU GRANULOMETRIQUE

mélange 200/300

GRANULOMÉTRIE

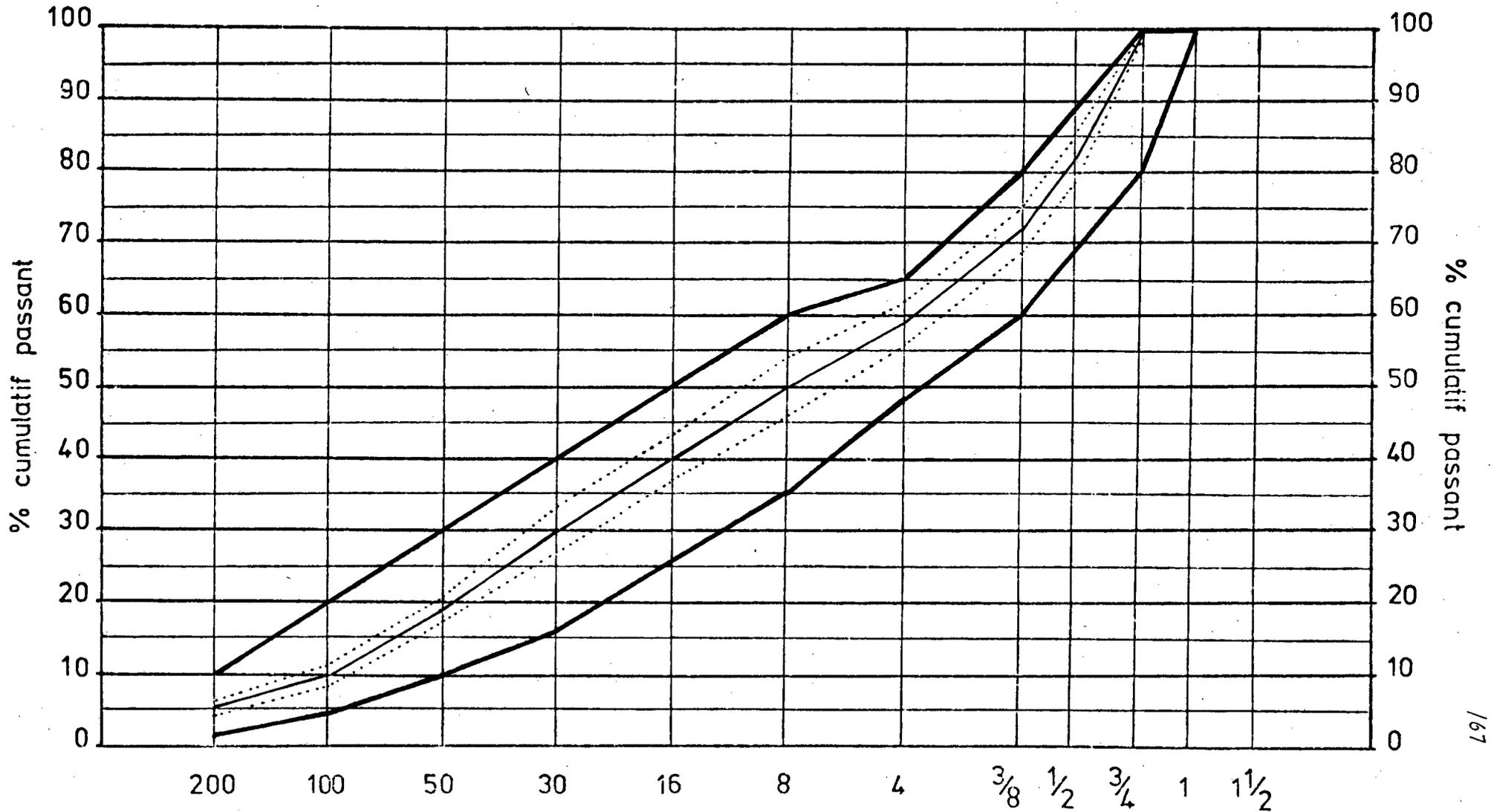


— Moyenne
..... 2σ
— limite d'un mélange MB-3

FIGURE XIV - FUSEAU GRANULOMETRIQUE

mélange 300/400

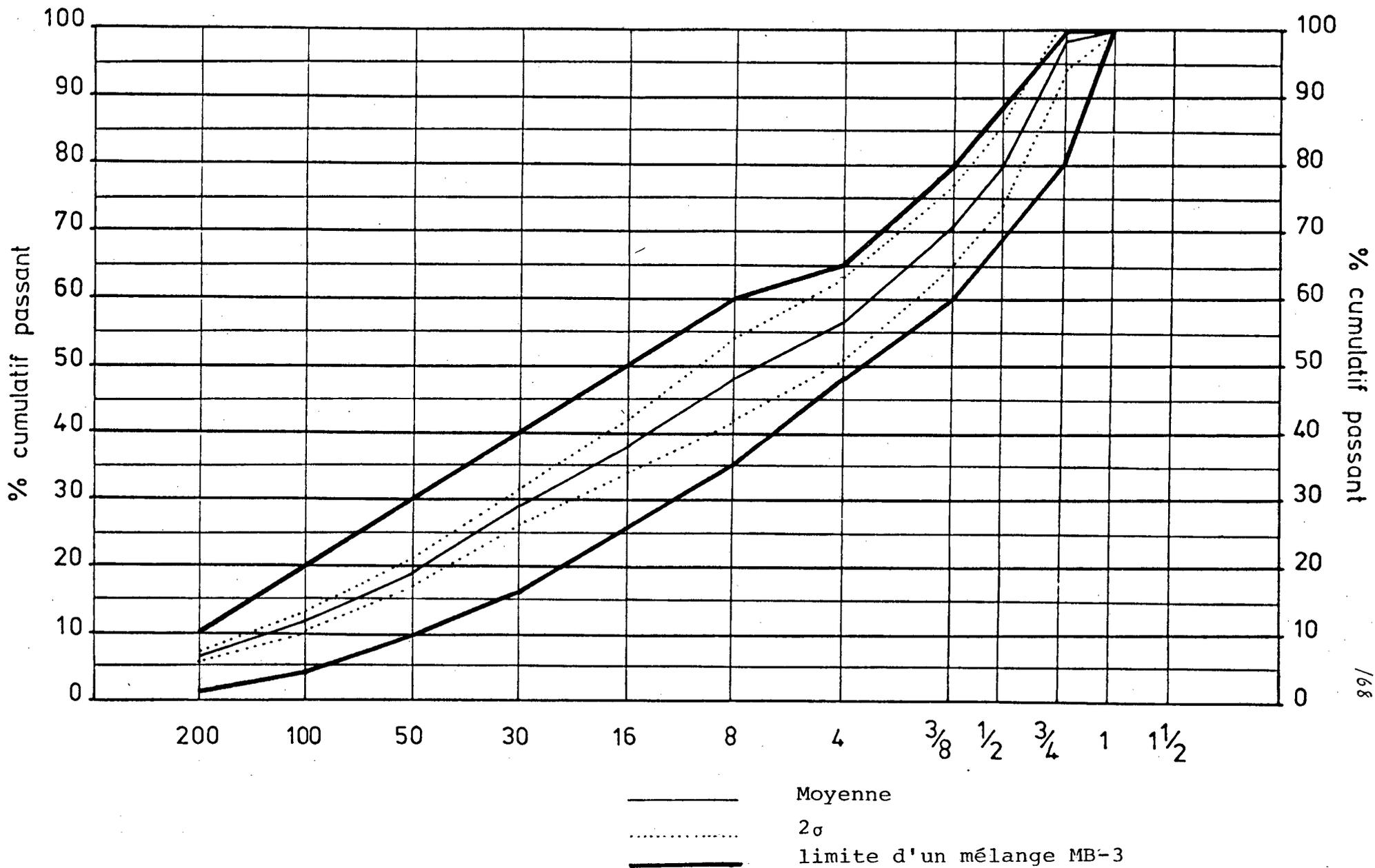
GRANULOMÉTRIE



— Moyenne
..... 2σ
— limite d'un mélange MB-3

FIGURE XV - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
 mélange 150/200 + adjuvant

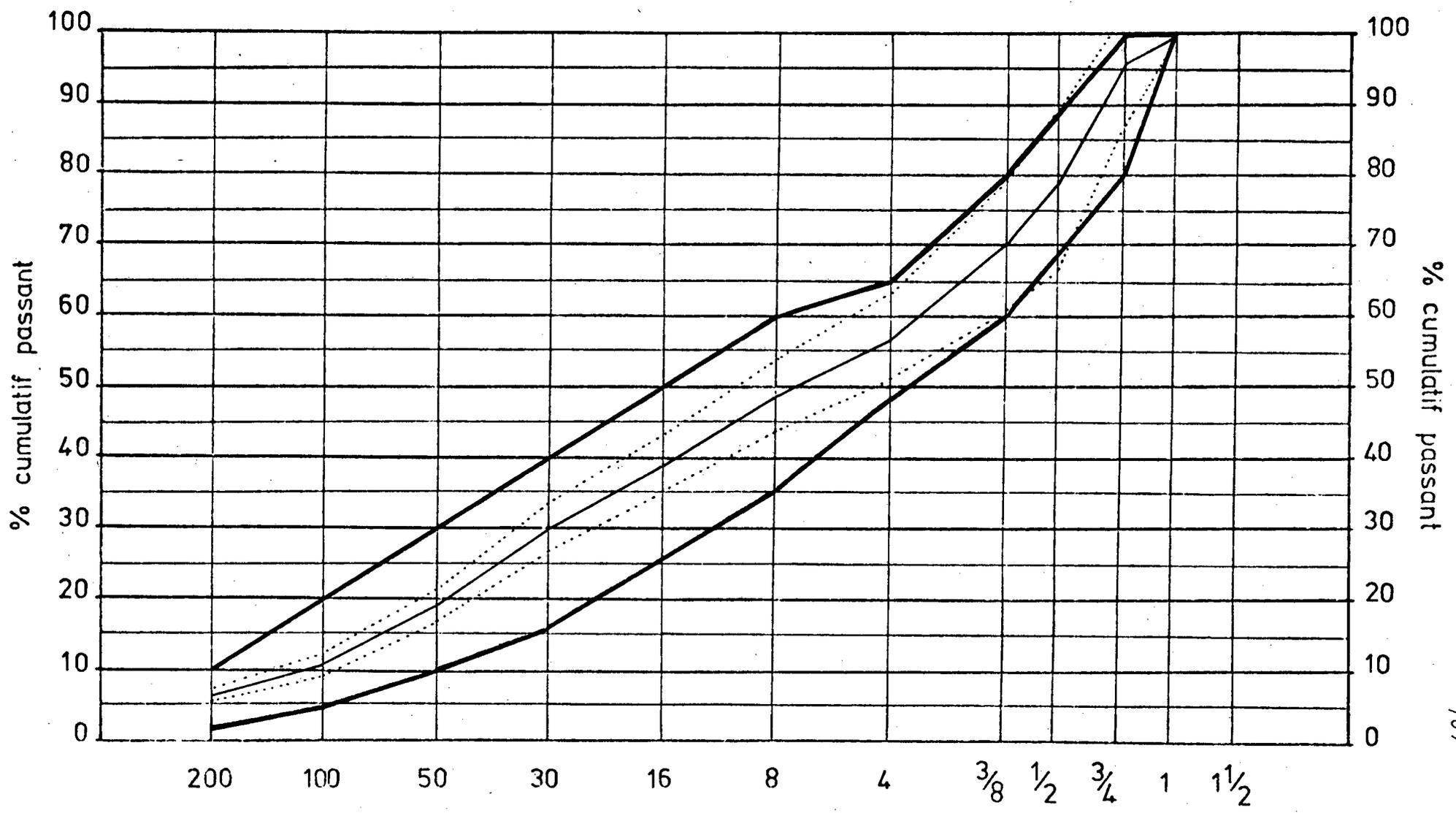
GRANULOMÉTRIE



/68

FIGURE XVI - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
 mélange 200/300+ adjuvant

GRANULOMÉTRIE



——— moyenne
 2σ
 ——— limite d'un mélange MB-3

FIGURE XVII - FUSEAU GRANULOMETRIQUE
 mélange 300/400 + adjuvant

GRANULOMÉTRIE

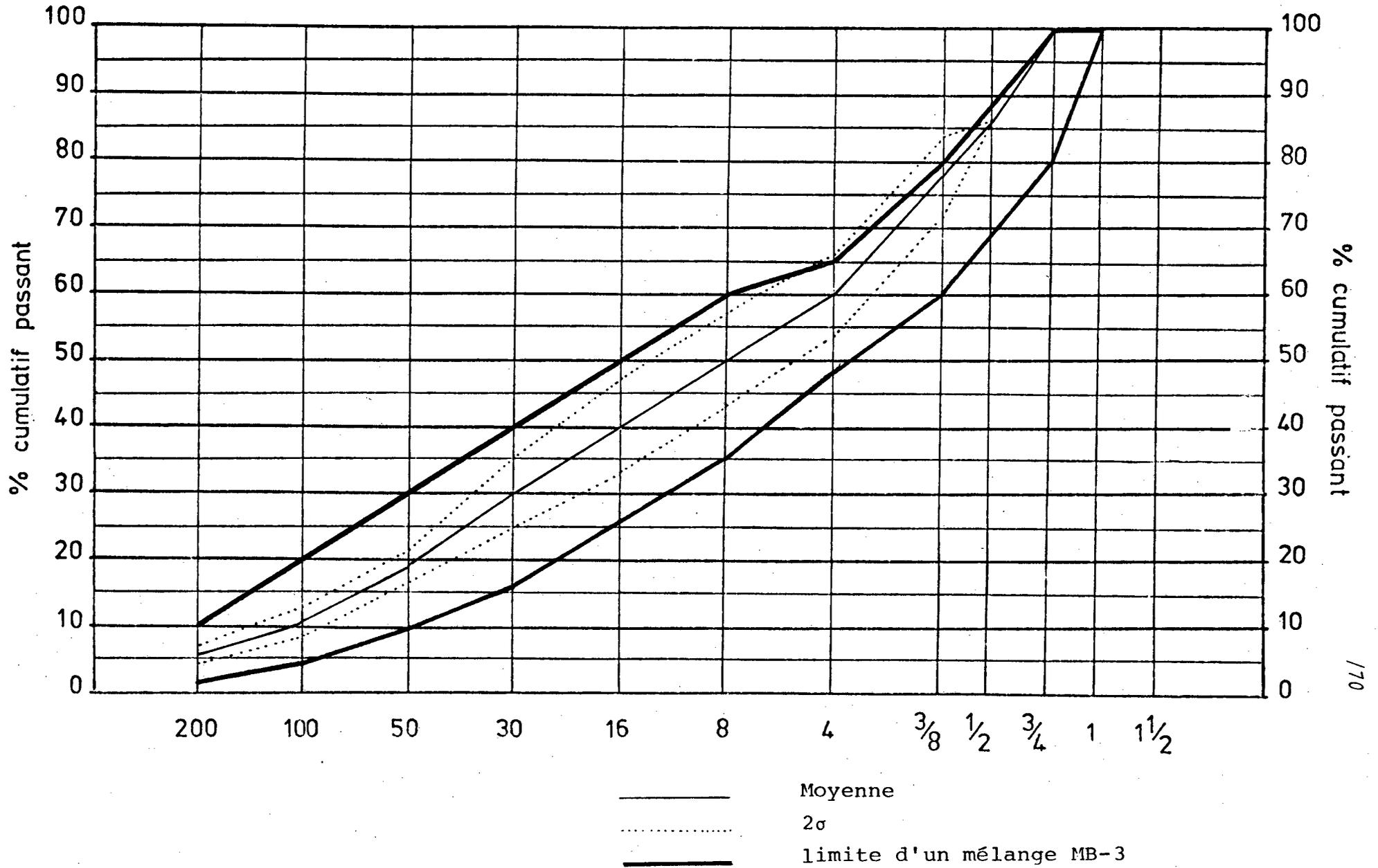


FIGURE XVIII - ESTIMATION DE LA QUANTITE D'ADJUVANT

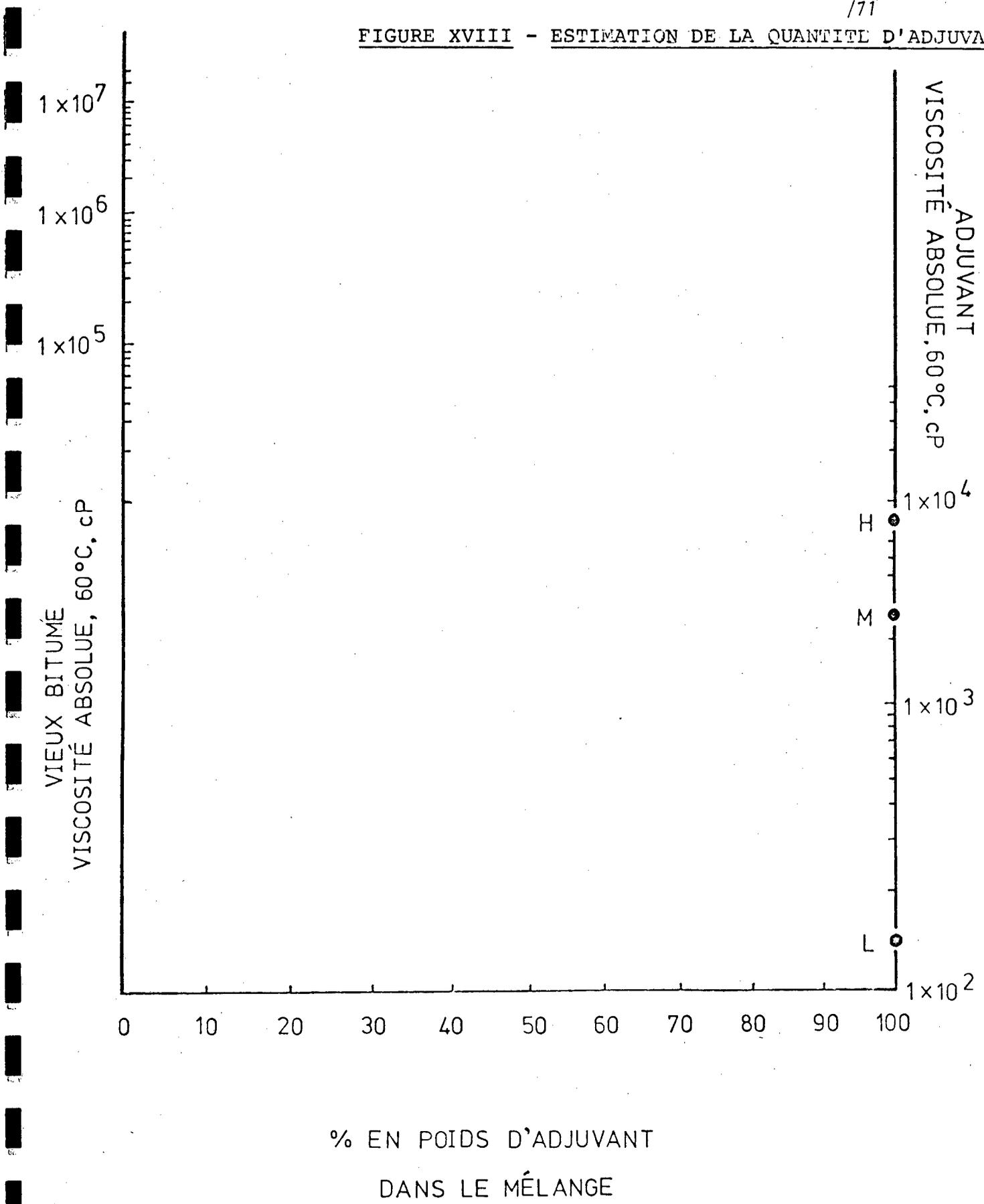
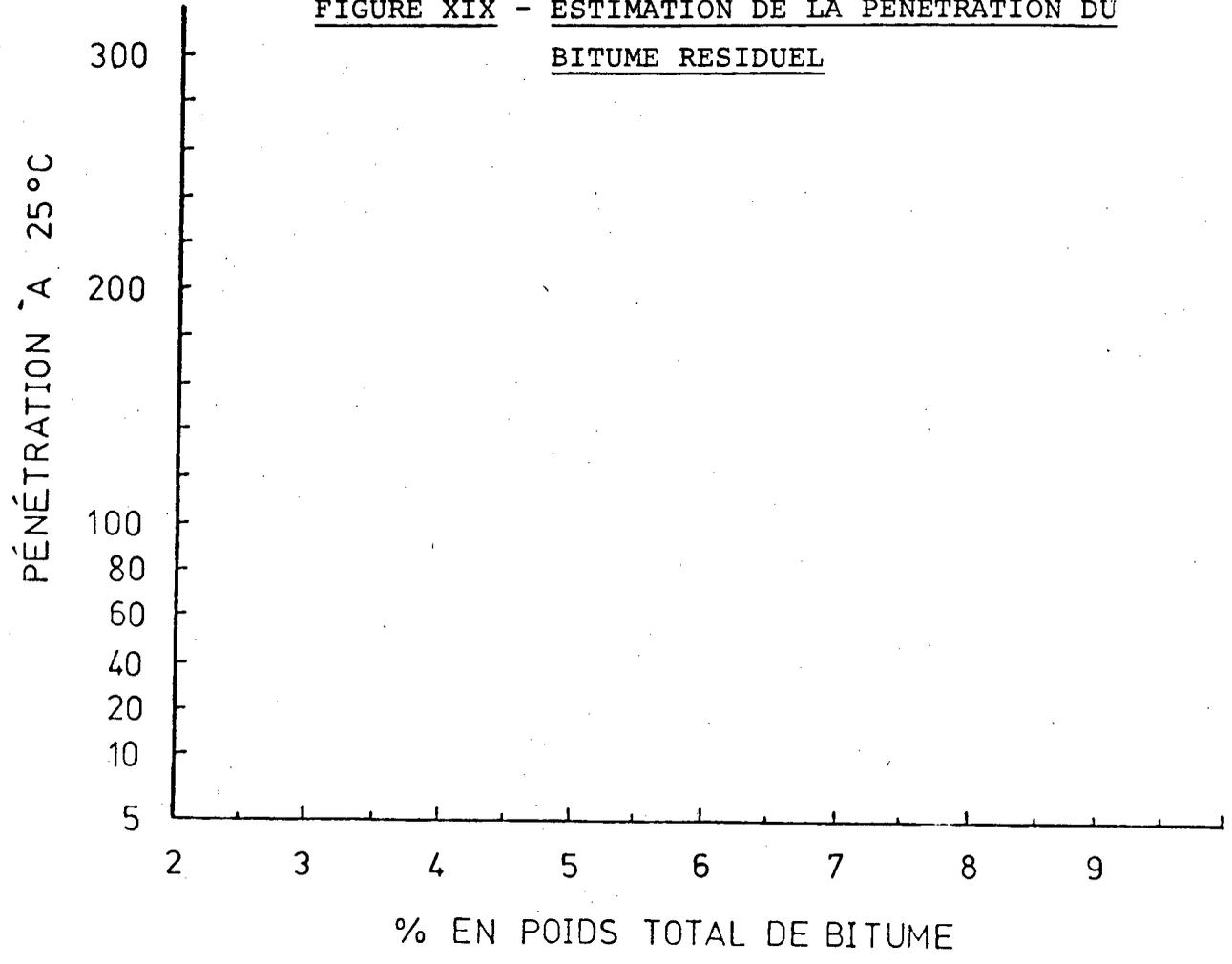


FIGURE XIX - ESTIMATION DE LA PENETRATION DU BITUME RESIDUEL



- H
- M
- L

ADJUVANT

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 226 692