

CARACTÉRISTIQUES DES BORDURES PRÉFABRIQUÉES
EN BÉTON PRODUITES AU QUÉBEC

PROJET NO: 84 41 45

CANQ
TR
GE
RC
162



Ministère des Transports
Direction recherche et contrôle
Service du laboratoire central

920597

CARACTÉRISTIQUES DES BORDURES PRÉFABRIQUÉES
EN BÉTON PRODUITES AU QUÉBEC

PROJET NO: 84 41 45

PAR:

Jean-Guy Létourneau
Jean-Guy Létourneau, t.p.

Roger Blanchette

Roger Blanchette, T.Sc.A.
Technicien principal
Spécialiste en Béton de ciment

Daniel Vézina

Daniel Vézina, ing.
Responsable Section Béton de ciment

Sainte-Foy, le 12 septembre 1985

/fg

CANQ
TR
GE
RC
162

REÇU
CENTRE DE DOCUMENTATION
01 DEC. 2006
TRANSPORTS QUÉBEC

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 PRODUCTEURS QUÉBÉCOIS DE BORDURES PRÉFABRIQUÉES	1
3.0 PROCÉDURES D'ÉVALUATION DES PROPRIÉTÉS DES BORDURES	2
3.1 Méthodes d'essais	2
3.2 Procédure utilisée pour la réalisation de l'étude	2
4.0 RÉSULTATS	4
4.1 Résistance à la flexion	4
4.2 Résistance à la compression	4
4.2.1 Résistance à la compression sur carotte	6
4.2.2 Résistance à la compression sur cube	6
4.3 Absorption d'eau et pourcentage de vide perméable	7
4.4 Durabilité au gel et dégel	9
4.5 Caractéristiques des vides d'air dans le béton durci	9
4.6 Résistance à l'écaillage	10
4.7 Résistance à l'abrasion	12
5.0 CONCLUSION	13
NOTE	17

1.0 INTRODUCTION

L'acceptation, par le Ministère des Transports, des bordures de béton préfabriquées pour l'utilisation sur divers ouvrages est basée sur les exigences énumérées dans la norme BNQ 2624-210 «Bordures préfabriquées en béton». Cette norme, datant de 1972, est présentement en révision par un comité formé par le BNQ en vue de mieux l'adapter aux besoins des fabricants et des utilisateurs.

Afin d'avoir une image réaliste et actuelle des bordures préfabriquées produites au Québec et aussi pour fournir aux membres du comité les données techniques nécessaires à l'élaboration des exigences, le Laboratoire central du Ministère des Transports a réalisé une étude visant à déterminer les caractéristiques des bordures disponibles sur le marché québécois.

2.0 PRODUCTEURS QUÉBÉCOIS DE BORDURES PRÉFABRIQUÉES

Cette étude, qui a débuté en juillet 1984 pour se terminer en juin 1985, a porté sur les bordures préfabriquées en béton et quatre (4) fabricants ont collaboré à la réalisation, soit:

- Le Bloc Vibré Québec, Inc. (Québec)
- Montco, Ltée (Montréal)
- Les Industries Fortier, Ltée (Québec)
- Béton Provincial, Ltée (Matane)

Chacune de ces usines a fourni au Laboratoire central cinq (5) bordures préfabriquées en béton de la production habituelle.

3.0 PROCÉDURES D'ÉVALUATION DES PROPRIÉTÉS DES BORDURES

Comme le but de cette étude est de fournir le maximum de renseignements aux membres du comité de révision de la norme BNQ 2624-210 et de connaître la qualité des bordures préfabriquées produites au Québec, nous avons soumis les bordures aux essais prévus par la dite norme ainsi qu'à d'autres essais non indiqués dans la norme.

3.1 Méthodes d'essais

L'évaluation des propriétés des bordures est basée sur les essais suivants:

	Norme utilisée	Exigences BNQ 2624-210
Flexion (chargement central)	ASTM C-293	5,9 MPa min.
Compression - sur carotte (100 mm diam.) - sur cube (100 mm)	CAN3-A23.2-14C ---	48,3 MPa min. 48,3 MPa min.
Absorption d'eau	CAN3-A23.2-11C	6% max.
Gel et dégel (Proc. B)	ASTM C-666	500 cycles min.
Pourcentage de vide perméable	ASTM C-642	-----
Abrasion (Méthode C, billes d'acier)	ASTM C-779	-----
Résistance à l'écaillage de la surface exposée	ASTM C-672	-----
Caractéristique des vides d'air dans le béton durci	ASTM C-457	-----

3.2 Procédure utilisée pour la réalisation des essais

Les huit (8) essais prévus en 3.1 ont été réalisés selon le

schéma donné au tableau I.

TABLEAU I
RÉPARTITION DES ESSAIS

BORDURE NO	ESSAIS EFFECTUÉS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Flexion - <u>Compression sur carotte</u> (1 carotte aux extrémités de chaque 1/2 bordure) - <u>Compression sur cube</u> (1 cube aux extrémités de chaque 1/2 bordure) - <u>Absorption d'eau</u> (2 essais sur chaque 1/2 bordure, 1 en haut et 1 en bas de la bordure) - <u>% Vides perméables</u> (2 essais sur chaque 1/2 bordure, 1 en haut et 1 en bas de la bordure)
2	Idem à 1
3	Idem à 1
4	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Gel et dégel</u> (prélèvement de 2 prismes de 75 x 100 x 425 mm dans la bordure) - % Air béton durci (1 échantillon par prisme)
5	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Abrasion</u> (prélèvement de 1 carotte de 150 mm dans la face exposée de la bordure) - <u>Sels déglaçants</u> (prélèvement de 1 carotte de 150 mm dans la face exposée de la bordure)

Donc, à partir des bordures fournies par chacun des fabricants, nous avons effectué les essais suivants:

- 3 essais de flexion
 - 6 essais de compression sur carotte
 - 6 essais de compression sur cube
 - 12 essais d'absorption d'eau
 - 12 essais de % vides perméables
 - 1 essai d'abrasion
 - 2 essais de gel-dégel
 - 2 essais de % de vides d'air dans le béton durci
 - 1 essai de résistance à l'écaillage
- 45 essais au total

4.0 RÉSULTATS

4.1 Résistance à la flexion (chargement central)

L'exigence fixée par la norme BNQ 2624-210 est de 5,9 MPa. Pour cet essai, seules les bordures de l'usine «D» ont rencontré cette exigence. Tous les essais ont été effectués sur des bordures ayant subi aucun conditionnement au préalable. Les résultats de l'essai de flexion sont donnés au tableau 2.

4.2 Résistance à la compression du béton

La norme BNQ prévoit que cet essai peut être effectué soit sur des cubes de 100 mm d'arête ou sur des carottes de 100 mm de diamètre, dont le rapport L/d est supérieur à 1,5. Nous avons procédé aux essais de compression sur les deux types de spécimens afin de déterminer l'effet de l'utilisation de l'une ou l'autre de ces éprouvettes.

TABLEAU 2

RÉSISTANCE À LA FLEXION ET À LA COMPRESSION DU BÉTON

Fabricant	Bordure N°	Flexion (MPa)	RÉSISTANCE À LA COMPRESSION (MPa)						Ratio R cube R Carotte
			Carotte (100 x 200 mm)			Cube (100 mm)			
			1	2	\bar{x}	1	2	\bar{x}	
A	1	3,1	36,5	36,5	36,5	39,0	54,7	46,9	1,28
	2	3,7	51,0	52,7	51,9	51,9	40,6	46,3	0,89
	3	3,5	51,1	51,1	51,1	47,6	54,3	51,0	1,00
	4	3,9	53,2	52,0	52,6	----	----		
	\bar{x}	3,6			48,0			48,0	1,06
	σ	---			7,15			6,87	
B	1	6,4	67,2	65,1	66,2	58,5	74,9	66,7	1,01
	2	6,0	69,3	65,7	67,5	47,7	56,6	52,2	0,77
	3	4,8	75,6	73,6	74,6	59,3	58,3	58,8	0,79
	\bar{x}	5,7			69,4			59,2	0,86
	σ	---			4,32			8,80	
C-1	1	3,9	35,7	44,7	40,2	49,0	57,8	53,4	1,33
	2	3,7	45,8	45,7	45,8	50,4	56,7	53,6	1,17
	3	4,0	44,7	44,8	44,8	50,6	47,8	49,2	1,10
	\bar{x}	3,9			43,6			52,1	1,20
	σ	---			3,9			4,17	
C-2	1	4,3	45,6	44,8	45,2	50,4	50,7	50,6	1,12
	2	4,3	35,1	49,9	42,5	49,1	52,7	50,9	1,20
	3	4,4	44,7	43,0	43,9	52,7	51,2	52,0	1,18
	\bar{x}	4,3			43,9			51,1	1,17
	σ	---			4,87			1,40	
D	1	7,2	58,3	54,3	56,3	62,1	54,1	58,1	1,03
	2	7,3	66,5	72,6	69,6	77,1	67,1	72,1	1,04
	3	6,8	69,0	69,3	69,2	69,8	72,2	71,0	1,03
	\bar{x}	7,1			65,0			67,1	1,03
	σ	---			7,13			8,09	

\bar{x} = moyenne

σ = écart-type

4.2.1 Résistance à la compression du béton à l'aide de carottes

Les deux carottes servant à l'essai de compression ont été prélevées à chacune des extrémités de la bordure. Le diamètre de la carotte est de 100 mm et la longueur est de 200 mm, de sorte que le rapport $L/D = 2$. Toutes les carottes prélevées représentent le centre de la bordure afin d'éliminer les effets de paroi (haut et bas) occasionnés par la méthode de fabrication de l'usine. Les essais ont été effectués sur des carottes complètement immergées dans l'eau saturée de chaux durant les 40 à 48 heures qui précèdent immédiatement l'essai en compression. L'exigence fixée par la norme est de 48,3 MPa.

Les résultats obtenus sur les bordures des différents fournisseurs nous indiquent que les bordures fabriquées par l'usine B et D rencontrent l'exigence fixée par la norme. Les résultats sont donnés au tableau 2.

4.2.2 Résistance à la compression du béton à l'aide de cubes

Dans chacune des bordures, deux cubes de 100 mm ont été prélevés à l'intérieur de la masse de béton à la mi-hauteur de la bordure et à proximité de la carotte, de façon à pouvoir comparer les résultats. Les essais de résistance ont été effectués sur des cubes immergés dans l'eau saturée de chaux durant les 40 à 48 heures qui précèdent immédiatement l'essai en compression.

Tel que prévu, les essais de résistance à la compression effectués sur les cubes donnent des résultats plus élevés que sur les carottes. Il y a toutefois quelques exceptions où, dans ces cas, les

résultats de résistance sur cubes sont inférieurs à ceux obtenus sur les carottes correspondantes. Ce phénomène est anormal et l'explication en est la suivante: tout d'abord, les spécimens qui ont servi à l'essai de résistance à la compression n'étaient pas parfaitement cubiques, ce qui a pu affecter les résultats; de plus, nous avons constaté à l'intérieur des spécimens, des fabricants B et D, un manque de cohésion dans le béton, créant un réseau de fissures internes.

4.3 Absorption d'eau et pourcentage de vide perméable

Un total de quatre (4) essais d'absorption et de détermination des vides perméables ont été effectués sur chacune des bordures. Les échantillons proviennent des deux carottes qui ont été prélevées aux deux extrémités de la bordure pour l'essai de compression. Les parties supérieure et inférieure de ces carottes ont servi à l'essai d'absorption et aux vides perméables. La norme BNQ exige une absorption maximum de 6%; il n'y a pas d'exigence concernant le pourcentage de vide perméable. Les résultats complets sont donnés au tableau 4.

Le % d'absorption moyen ainsi que le % de vide perméable moyen des bordures des différents fabricants sont donnés au tableau # 3.

TABLEAU 3

Fabricant	Méthode de fabrication	% d'absorption moyen	% vide perméable moyen
B	Vacuum	3,11	8,13
D	Vacuum	3,47	8,35
C-1	Béton sec compacté	3,63	10,16
C-2	Béton sec compacté	3,81	10,80
A	Béton avec affaissement	6,34	

Les % d'absorption et de vides perméables sont donnés par ordre croissant et correspondant à trois méthodes de fabrication différente. Les résultats détaillés de tous les essais d'absorption et de vide perméable sur toutes les bordures de chacun des fabricants sont donnés au tableau # 4.

TABLEAU 4
 ABSORPTION D'EAU ET VIDE PERMÉABLE

FABRICANT	BORDURE N°	ABSORPTION (%)				% VIDE PERMÉABLE			
		Extrémité 1		Extrémité 2		Extrémité 1		Extrémité 2	
		Haut	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas	Haut	Bas
A	1	8,2	7,8	6,6	7,3	---	---	---	---
	2	6,0	6,2	5,1	6,1	---	---	---	---
	3	5,5	6,2	5,3	5,8	---	---	---	---
	$\bar{x} \pm \sigma$	6,3 ± 0,24							
B	1	3,4	3,8	3,1	3,5	9,0	9,8	8,1	9,2
	2	3,2	3,4	2,6	3,5	8,4	8,6	9,0	8,9
	3	2,3	3,1	2,5	2,9	6,5	8,0	6,7	7,4
	$\bar{x} \pm \sigma$	3,11 ± 0,46				8,13 ± 1,05			
C-1	1	3,9	5,0	3,4	3,9	12,6	16,8	9,1	13,9
	2	3,1	3,7	3,7	3,5	7,9	11,0	9,5	9,6
	3	3,9	3,9	3,9	3,8	9,9	9,7	9,7	9,9
	$\bar{x} \pm \sigma$	3,81 ± 0,45				10,80 ± 2,47			
C-2	1	4,1	3,4	3,7	3,4	15,6	9,3	9,5	8,9
	2	4,1	3,7	3,6	3,3	9,3	14,7	9,0	7,8
	3	3,7	3,4	3,6	3,6	9,5	9,4	9,7	9,2
	$\bar{x} \pm \sigma$	3,63 ± 0,26				10,16 ± 2,39			
D	1	3,7	---	4,0	4,6	8,8	---	9,9	10,9
	2	2,8	3,5	3,4	3,7	7,2	8,4	7,5	8,9
	3	2,8	3,3	3,1	3,3	7,0	7,7	7,5	8,0
	$\bar{x} \pm \sigma$	3,47 ± 0,53				8,35 ± 1,21			

4.4 Durabilité au gel et dégel

Deux prismes de 75 x 100 x 425 mm (photo 1) provenant de la même bordure ont été soumis à l'essai de gel-dégel selon la procédure B de la norme ASTM C-666. La norme BNQ exige que le béton résiste à au moins 500 cycles de gel-dégel avant que le module d'élasticité dynamique relatif n'atteigne 60% de sa valeur initiale. Les résultats obtenus sont donnés au tableau 5.

TABLEAU 5

DURABILITÉ AU GEL ET DÉGEL

Fabricant	Nombre de cycles	Module d'élasticité
A	72	60%
B	517	92%
C-1	544	109%
C-2	500	87,3%
D	579	90%

Pour cet essai, toutes les bordures évaluées ont rencontré cette exigence, sauf celle provenant du fabricant A.

4.5 Caractéristiques des vides d'air dans le béton durci

À partir du même béton qui est soumis à l'essai de gel et dégel, nous avons prélevé deux spécimens qui nous ont permis d'évaluer les caractéristiques du réseau de vides des différentes bordures. Les résultats obtenus sont donnés au tableau 6.

TABLEAU 6

CARACTÉRISTIQUES DES VIDES D'AIR (EXAMEN AU MICROSCOPE)

ASTM C-457 «Modified Point Count Method»

Fabricant	% vides d'air	$\bar{\lambda}$ μm	σ mm^{-1}	\bar{L} μm
A	6,2	---	---	460
B	1,2	320	12,5	760
C-1	5,9	400	10,0	390
C-2	9,3	375	10,3	200
D	1,1	390	10,6	980

$\bar{\lambda}$ = diamètre moyen des vides d'air

σ = surface spécifique volumique

\bar{L} = facteur d'espacement

Les résultats obtenus nous permettent de constater que le pourcentage de vides d'air contenu dans le béton durci varie en fonction de la méthode de fabrication utilisée; ainsi, les fabricants qui emploient une machine de type «vacuum» pour la confection des bordures ont des pourcentages de vides très faibles. Dans le cas des bordures provenant du fabricant «A», le pourcentage de vides de 6,2% est élevé, mais ces vides sont inefficaces pour la protection du béton contre le gel.

4.6 Résistance à l'écaillage de la surface des bordures

La résistance à l'écaillage est une qualité essentielle des bordures préfabriquées; nous avons donc évalué cette résistance à l'aide

de la méthode ASTM C-672 qui prévoit des cycles de gel et dégel en présence d'eau contenant 4% de chlorure de calcium. Cet essai est visuel et il est basé sur la dégradation de la surface exposée. Pour réaliser cet essai, nous avons prélevé une carotte de 150 mm de diamètre dans la face exposée de la bordure (photo 2). Cet échantillon a ensuite été soumis à l'essai selon les exigences de la norme. Les résultats sont donnés au tableau 7. Une bonne bordure ne devrait pas présenter d'écaillage après 50 cycles de gel et dégel.

TABLEAU 7

RÉSISTANCE À L'ÉCAILLAGE DES SURFACES DE BORDURES

Fabricant	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
A	0	0	0	0	2	2	--	3	5	5	5
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Explication des cotes

- 0 - Aucun écaillage
- 1 - Écaillage léger (3 mm de profondeur)
- 2 - Écaillage léger à modéré
- 3 - Écaillage modéré (quelques gros granulats apparents)
- 4 - Écaillage modéré à sévère
- 5 - Écaillage sévère (gros granulats visibles sur toute la surface).

D'après les résultats obtenus, toutes les bordures évaluées ont un bon comportement à cet essai, sauf celles provenant du fabricant «A» qui commencent à écailler après 20 cycles et qui ont un écaillage sévère après 50 cycles (photo 3).

4.7. Résistance à l'abrasion

Les bordures de rues sont soumises à l'action abrasive des lames de grattes servant au déneigement. Nous avons évalué la résistance à l'abrasion de chacune de ces bordures à l'aide de la méthode ASTM C-779 procédure C. Cette méthode consiste à faire tourner des billes d'acier contre la surface et à mesurer l'usure après 20 minutes d'essais (photo 4). Les résultats d'usure obtenus furent les suivants:

Fabricant	Résultat
A	1,65 mm d'usure
B	0,81 mm d'usure
C-1	0,66 mm d'usure
C-2	0,61 mm d'usure
D	0,64 mm d'usure

On constate donc que la résistance à l'abrasion des bordures des fabricants B, C-1, C-2 et D est, à peu de chose près, égale, compte tenu de la précision que cet essai peut fournir. Cependant, l'usure provoquée par les billes est beaucoup plus considérable dans le cas des bordures provenant du fabricant A.

5.0 CONCLUSION

L'examen des résultats obtenus nous permet d'analyser les exigences ainsi que certaines procédures décrites dans la norme BNQ 2624-210. Cette étude permet aussi d'examiner la possibilité d'introduire de nouveaux essais lors de sa révision.

Si on tient compte uniquement des résultats des essais, cette étude fournit une évaluation comparative des propriétés mécaniques des différentes bordures préfabriquées au Québec au cours de la période de juillet 1984 à juin 1985.

D'une façon plus particulière, les principaux points qui se dégagent de cette étude sont les suivants:

- 1- L'exigence de 5,9 MPa comme module de rupture fixée par la norme est un peu trop élevée.
- 2- La détermination de la résistance à la compression du béton des bordures devrait être faite sur des carottes de 100 mm de diamètre avec un rapport L/d égal à 2. L'utilisation des cubes de 100 mm d'arête devrait être abolie.
- 3- D'une façon générale, la moyenne des résistances à la compression du béton déterminée à l'aide de cubes est 6,4% supérieure à celle obtenue à l'aide de carottes de 100 mm x 200 mm. L'emploi de cubes pour évaluer la résistance à la compression semble favoriser un fabricant en particulier; pour les autres, le gain de résistance est faible.

- 4- L'exigence de 48,3 MPa comme résistance à la compression du béton est acceptable.
- 5- Le pourcentage d'absorption d'eau fixé par la norme est de 6% maximum. Cette valeur pourrait être ramenée à 5%, ce qui serait plus représentatif de la réalité.
- 6- L'essai de gel-dégel tel que décrit par la norme devrait être conservé. Les résultats obtenus nous indiquent bien le comportement des différentes bordures soumises à cet essai. C'est un essai primordial dans l'acceptation ou l'évaluation de la qualité des bordures.
- 7- Il y a une bonne corrélation entre le pourcentage d'absorption ou de vide perméable, tel que déterminé selon la norme ASTM C-642, et le comportement au gel et dégel. Plus le béton contient de vides perméables, plus celui-ci peut se saturer d'eau et ainsi se détériorer rapidement sous l'action du gel.
- 8- L'essai de détermination des caractéristiques des vides d'air dans le béton durci nous révèle que le pourcentage de vides est très faible (1,1 et 1,2%) dans le cas où la mise en place du béton est effectuée à l'aide d'une machine utilisant un «vacuum» pour retirer l'eau du béton. Cette méthode de fabrication produit un béton très dense et peu poreux, ce qui donne un excellent produit fini.

Dans le cas où la méthode de fabrication consiste à mettre en place un béton sec compacté, contenant un adjuvant destiné à faciliter la

mise en place, le pourcentage de vides d'air est élevé et variable (5,9 et 9,3%) pour ce type de béton. Les vides d'air contenus dans le béton sont de grosses bulles et ne peuvent pas être considérés comme de l'air entraîné. La troisième méthode de fabrication consiste à mettre en place un béton avec affaissement dans des moules; la teneur en vides d'air dans ce cas est de 6,2% et le pourcentage d'absorption de 6,3%. La qualité douteuse des granulats ainsi qu'un manque d'adjuvant entraîneur d'air dans un tel mélange avec affaissement expliquent son mauvais comportement au gel et dégel et sels déglaçants.

- 9- Une des propriétés importantes que doivent posséder les bordures est leur résistance à l'écaillage. Les bordures ne devraient démontrer aucun écaillage après 50 cycles de gel en présence de sel pour assurer leur longévité. Trois des quatre fabricants de bordures fournirent un produit qui rencontre cette exigence. Ce critère devrait être inclus dans la norme BNQ 2624-210.

- 10- Les résultats de l'essai d'abrasion nous démontrent que trois des quatre fabricants produisent des bordures dont l'abrasion se situe entre 0,64 mm et 0,81 mm, ce qui est excellent. Cependant, dû à la grande variation dans cet essai et au manque de données, il est difficile de fixer une exigence. Nous ne recommandons pas l'inclusion de cet essai dans la future norme.

En résumé, cette étude nous a permis de fournir une quantité appréciable d'informations qui permettent d'apporter les améliorations qui s'imposent à la norme BNQ régissant les bordures préfabriquées. En plus, cette étude fournit une image réaliste de la qualité des bordures qui sont fabriquées au Québec et qui sont utilisées sur divers contrats du Ministère des Transports.

NOTE

Cette étude a été réalisée entre les mois de juillet 1984 et juin 1985. Les résultats des essais qui apparaissent représentent donc la production d'une usine à un moment donné au cours de cette période. Il est fort possible qu'au moment de la parution de ce rapport, des améliorations ou modifications aient été apportées, ce qui peut entraîner des changements dans les propriétés des bordures.



PHOTO 1



PHOTO 2

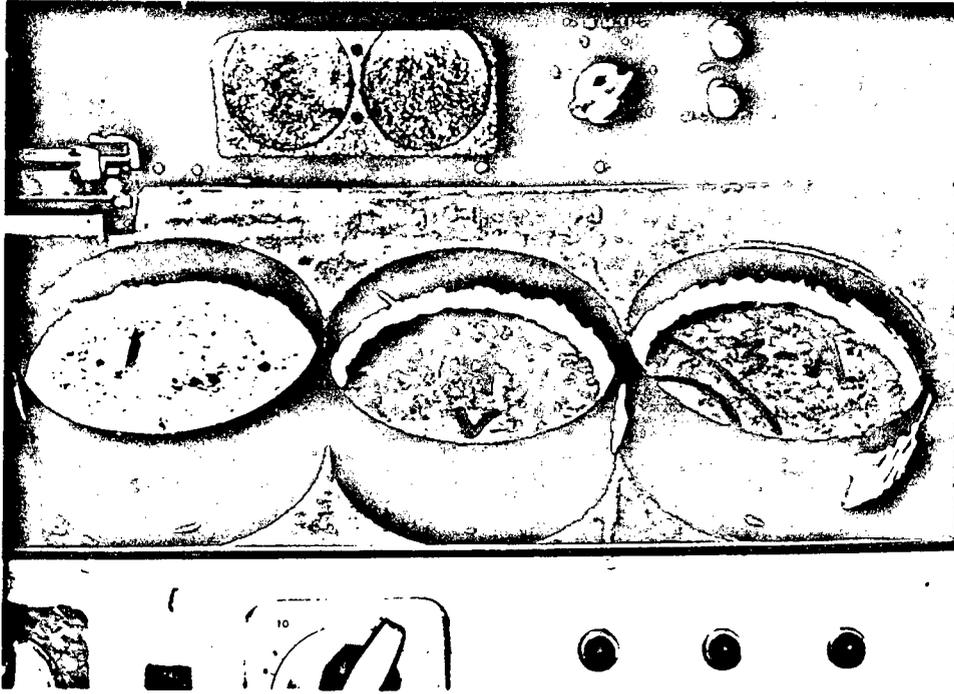


PHOTO 3

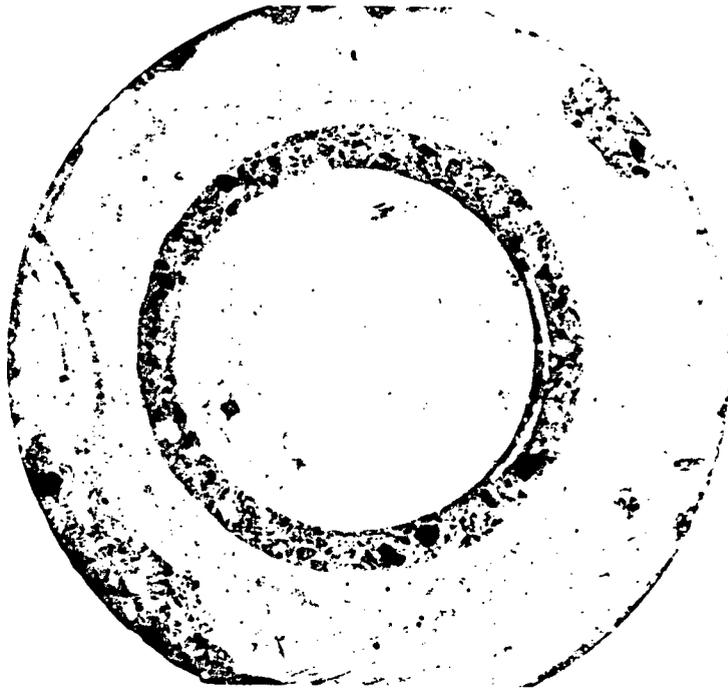
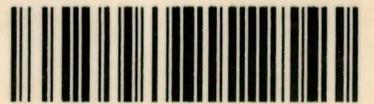


PHOTO 4

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 222 327