

920669

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
Laboratoire Central
Complexe Scientifique
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
G1P 3W8

ETUDE DE L'INFLUENCE DE DIVERS TYPES DE
MOULES SUR LA RESISTANCE A LA
COMPRESSION D'ÉPROUVETTES DE BETON

Jean-Guy Létourneau
Réalisation et essais: Jean-Guy Létourneau, tech.

Roger Blanchette
Roger Blanchette, t.p.s.

Daniel Vézina
Préparé par: Daniel Vézina, ing.
Responsable - Béton de Ciment

SAINTE-FOY, le 2 avril 1980.

DV/fg

CANQ
TR
GÉ
RC
141
1980
A02.

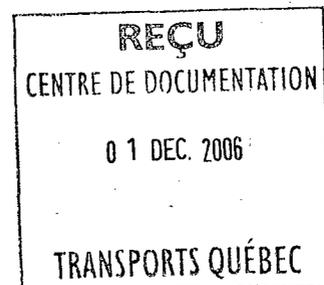


TABLE DES MATIERES

	PAGE
- Sommaire	1
- Introduction	2
- Procédure	2
- description des moules	2
- fournisseur de béton	3
- mélanges, prélèvement, mûrissement et essais	3
- Résultats	5
- Commentaires sur les moules utilisés	7
- Conclusions	10
- Références	12

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableaux 1 à 12: Résultats pour chacun des mélanges	13 à 24
Tableau 13: Résistance moyenne obtenue à l'aide des différents moules	25
Tableau 14: Autres moules vs moules de carton "Eastern" Différence en pourcentage	26
Tableau 15: Autres moules vs moules de carton "Sonomold" Différence en pourcentage	27
Tableau 16: Autres moules vs "Sonomold et Eastern" ensemble Différence en pourcentage	28
Tableau 17: Pourcentage moyen d'augmentation ou de diminution de résistance des moules par rapport aux moules de carton Pourcentage moyen établi après 12 mélanges	29
Tableau 18: Pourcentage d'augmentation ou de diminution de résistance obtenu par rapport aux moules de carton, en fonction de la résistance demandée	30
Tableau 19: Pourcentage d'augmentation ou de diminution de résistance causée par le type de moule par rapport à la résistance moyenne de l'ensemble des résultats pour un mélange donné	31
Tableau 20: Coefficient de variation moyen (après 12 études) pour chaque type de moule	32

SOMMAIRE DES RESULTATS

Les éprouvettes de béton confectionnées à l'aide de moule d'acier réutilisable 152 x 305 mm donnent des résultats de résistance en compression supérieurs aux résultats obtenus sur des éprouvettes prélevées à l'aide de d'autres types de moules.

L'augmentation moyenne de la résistance obtenue à l'aide des moules d'acier après 12 mélanges de béton est de 3,84% par rapport à la résistance moyenne obtenue sur des éprouvettes prélevées à l'aide des moules de carton paraffiné "Sonomold" et Eastern. L'augmentation de résistance que procurent les moules de plastique épais par rapport aux moules de carton est de 1,53%; alors que l'utilisation des moules en polystyrène expansé amène une diminution de résistance de l'ordre de 1,80% par rapport aux moules de carton.

L'emploi du moule de carton "Eastern" nous donne une augmentation de résistance de l'ordre de 3,71% par rapport au moule de carton "Sonomold".

Le coefficient de variation des résistances obtenu se situe entre 1,68% et 2,83% selon les types de moules.

I- INTRODUCTION

La présence sur le marché de plusieurs types de moules servant à la confection des éprouvettes de béton destinées au contrôle de la qualité ainsi que la controverse reliée à l'utilisation des moules de carton paraffiné ont amené le Ministère des Transports à effectuer une étude pour lui permettre d'adopter le type de moule qui pourrait satisfaire aussi bien les producteurs de béton que les organismes de contrôle de la qualité.

Malgré le fait qu'il existe plusieurs travaux dans ce domaine, nous avons cru nécessaire d'effectuer ce travail avec des moules disponibles au Québec et avec du béton préparé par diverses usines à travers la province. Le béton utilisé représente donc différents ciments, adjuvants et agrégats. Cette étude doit aussi nous permettre de voir si le béton présente des résistances différentes selon que l'on utilise des moules d'acier, de plastique ou de carton qui existent sur le marché québécois.

II- PROCEDURE

1- Description des moules

Les six (6) types de moules qui ont servi pour ce travail sont:

- a) Moule d'acier réutilisable
- b) Moule de carton paraffiné "Sonomold"
- c) Moule de carton paraffiné "Eastern"
- d) Moule de plastique "épais" réutilisable
- e) Moule de plastique "mince" non-réutilisable
- f) Moule de polystyrène expansé (styrofoam).

Le moule d'acier a une épaisseur de paroi de 6 mm. Les moules de carton fabriqués par les compagnies "Sonomold" et "Eastern Tube" sont les plus utilisés au Québec. En ce qui concerne les moules de plastique, la mention "épais" et "mince" réfère à l'épaisseur de la paroi du moule; les moules "épais" ont une paroi de 6 mm et les "minces" de 3 mm.

2- Fournisseur de béton

Les usines de béton qui ont collaboré avec le Laboratoire Central dans cette étude sont les suivantes:

<u>Nom</u>	<u>Endroit</u>
1) Dominion Ready-Mix	Québec
2) Béton Québec, Inc.	Québec
3) L. Gosselin et Fils, Ltée	Thetford-Mines
4) Carrières de Beauce	St-Georges
5) Béton Drummond, Ltée	Drummondville
6) Béton Provincial, Ltée	Matane
7) Francon	Montréal
8) Demix Béton	Longueuil

3- Mélanges, prélèvement, mûrissement et essais

3.1 Mélanges

Parmi les douze (12) mélanges demandés, on retrouve les résistances suivantes:

	Mélange No
1 mélange de 25 MPa à 28 jours	8
7 mélanges de 30 MPa à 28 jours	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9
2 mélanges de 35 MPa à 28 jours	7 et 11
2 mélanges de 40 MPa à 28 jours	10 et 12

Les granulats de 14 et 20 mm maximum ont été spécifiés dans tous ces mélanges.

3.2 Prélèvement

Pour chacun des types de moules à étudier, six (6) éprouvettes étaient préparées, ce qui représentait pour chacun des mélanges entre 30 et 36 éprouvettes à prélever selon que l'on étudiait de 5 ou 6 types de moules. Tous ces cylindres ont été prélevés par le même technicien dans le but d'éliminer le facteur de variation inhérent à plusieurs échantillonneurs; cependant, cette façon de procéder a entraîné un délai d'environ 1 heure entre le début du prélèvement et la fin de celui-ci. Nous sommes conscients que cette procédure n'est pas conforme aux exigences de la norme ACNOR; pour minimiser l'effet de ce délai, chaque éprouvette était toujours prélevée dans le même ordre:

- 1 éprouvette "Eastern"
- 1 éprouvette "Sonomold"
- 1 éprouvette "Plastique Epais"
- 1 éprouvette "Acier Etanché"
- 1 éprouvette "Plastique Mince"
- 1 éprouvette "Polystyrène Expansé"

Après la confection de la première série d'éprouvettes, on répète la procédure jusqu'à l'obtention des 6 éprouvettes par type de moules. Nous croyons que cette procédure nous a permis de prélever un nombre maximum d'éprouvettes à l'intérieur d'une même gâchée de béton tout en éliminant

les variations qu'auraient apportées plusieurs opérateurs et des gâchées différentes.

Les résultats complets sont fournis aux tableaux 1 à 12 inclusivement. En consultant ces données, on constate une faible variation entre les résultats des éprouvettes prélevées au début par rapport à celles prélevées à la fin; nous croyons donc qu'il était justifiable de prolonger le temps de prélèvement des échantillons au-delà des exigences de l'essai prescrit dans la norme ACNOR.

3.3 Mûrissement et Essais

Vingt-quatre (24) heures après le prélèvement, les éprouvettes étaient transportées au Laboratoire Central pour être mûries et soumises à l'essai de résistance à la compression à 28 jours. Le mûrissement, la coiffe et l'essai de compression étaient exécutés conformément aux exigences de la norme ACNOR.

III- RESULTATS

Les résultats en compression détaillés sont présentés dans les tableaux 13 à 19. Le tableau 13 nous donne la résistance moyenne des 12 mélanges pour chacun des types de moule.

Aux tableaux 14, 15 et 16, on retrouve pour chacun des mélanges le pourcentage d'augmentation ou de diminution de la résistance obtenu

à l'aide des divers moules en prenant respectivement comme valeur de référence: le moule de carton "Eastern" dans le cas du tableau 14; le moule "Sonomold" dans le cas du tableau 15; puis la résistance moyenne obtenue à l'aide des deux moules de carton dans le cas du tableau 16.

Les pourcentages moyens d'augmentation ou de diminution de la résistance des éprouvettes prélevées à l'aide de différents moules par rapport à celles prélevées dans des moules de carton sont fournis au tableau 17. Les pourcentages inscrits dans ce tableau sont calculés sur l'ensemble des résistances demandées de béton; le tableau 18 fournit les mêmes données, mais calculées en fonction de chacune des résistances demandées.

Au tableau 19, on retrouve, pour chacun des 12 mélanges, la variation obtenue par chaque type de moule par rapport à l'ensemble des résultats en compression d'un mélange donné, d'où on peut établir la performance de chaque type de moule en calculant leur probabilité de fournir des résultats supérieurs à la moyenne générale. Ainsi, par exemple, le moule de carton "Eastern" a obtenu 7 fois sur 12 une résistance supérieure à la moyenne générale, ce qui représente un pourcentage de 58%; en classant tous les types de moules de cette façon, on obtient les performances suivantes:

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 1) Acier non étanché: | 100% |
| 2) Plastique épais: | 92% |
| 3) Acier étanché: | 66% - seulement 3 mélanges |
| 4) Carton "Eastern": | 58% |

5) Plastique mince:	50% - seulement 4 études
6) Carton "Sonomold":	8.3%
7) Polystyrène expansé:	8.3%

On constate donc que les moules d'acier non étanché et le moule de plastique épais procurent aux éprouvettes les résistances les plus élevées, tandis que les résistances les plus faibles sont obtenues à l'aide de moule de carton "Sonomold" et de polystyrène expansé.

Pour ce qui est du moule de carton "Eastern", on voit que les résistances anticipées peuvent être très variables.

Le tableau 20 donne les coefficients de variation (C.V.) obtenus pour chaque type de moule; chaque valeur est une moyenne de l'ensemble des coefficients de variation obtenus pour chacun des mélanges.

IV- COMMENTAIRES SUR LES MOULES UTILISES

Les moules servant au contrôle de la qualité du béton doivent être conformes aux exigences de la norme ASTM C 470-76 "Mold for forming concrete test cylinders vertically". L'utilisation des différents moules nous permet de faire les constatations suivantes:

1- Moule d'acier

C'est un moule peu pratique qui demande beaucoup de manipulation de la part du technicien qui doit l'utiliser en chantier. Ce moule n'est pas étanche, à moins d'employer un scellant pour prévenir la fuite de laitance par les joints.

Lorsque ce moule n'est pas scellé, il ne satisfait pas aux exigences de la norme ASTM C 470 pour l'étanchéité.

2- Moule de plastique

On retrouve deux types de moules de plastique, ceux à paroi épaisse (6 mm) et ceux à paroi mince (3 mm). Ces derniers moules ne sont pas supposés être réutilisables, et, de plus, ils doivent être munis d'un couvercle une fois le prélèvement terminé, car ils se déforment facilement dû à un manque de rigidité.

Le démoulage s'effectue à l'aide d'une pression d'air que l'on applique à la base du cylindre. On doit prendre soin de boucher cette ouverture dans le centre de la base pour prévenir la fuite de pâte de ciment; de plus, il est nécessaire de bien huiler ces moules avant le prélèvement pour faciliter le démoulage. On a constaté à quelques occasions, surtout lorsque la résistance du béton est de 35 MPa et plus, une adhésion du béton avec la base de plastique: cette adhésion est localisée à la circonférence du cylindre près de la paroi verticale. Ce problème peut être résolu par l'utilisation d'une huile adéquate.

Les deux types de cylindres de plastique satisfont les exigences de la norme ASTM C 470-76.

3- Moules de carton

Les deux types de moules utilisés pour notre étude sont ceux fabriqués par les compagnies "Eastern Tube" et "Sonomold". Les

essais effectués sur ces moules pour en vérifier la conformité avec les exigences de la norme ASTM C 470-76 nous ont révélé que le moule "Eastern" était non conforme et que le "Sonomold" était conforme. Le moule "Eastern" est très absorbant et son expansion est supérieure aux exigences. La qualité de ce moule est très variable, certains moules se situent près des exigences de la norme, alors que d'autres en sont très éloignés. Pour ce qui est du moule "Sonomold", on a constaté à quelques occasions sa non étanchéité, cependant, son absorption en eau et son expansion se situent bien à l'intérieur des exigences; de plus, les résultats d'essais de contrôle nous ont indiqué une plus grande uniformité du produit. Il faut cependant remarquer que la couche de paraffine qui recouvre l'intérieur de ce moule est appliquée très inégalement: à certains endroits, elle est beaucoup trop épaisse, tandis qu'elle est presque inexistante à d'autres endroits. Lors du démoulage des éprouvettes confectionnées avec ce type de moule (Sonomold), on constate qu'une mince couche de paraffine demeure adhérente à quelques endroits à la paroi de l'éprouvette.

4- Moule de polystyrène expansé

Ce moule satisfait toutes les exigences de la norme ASTM C 470-76. Son utilisation laisse les parois du cylindre de béton très rugueuses, ce qui rend l'application de la coiffe plus difficile.

V- CONCLUSIONS

Le résumé de tout ce travail est contenu dans le tableau 17 d'où l'on peut conclure que:

- Il existe une grande différence de résistances entre les éprouvettes confectionnées à l'aide des moules de carton "Eastern" et "Sonomold". Les résistances obtenues par les éprouvettes prélevées dans des moules de carton "Eastern" sont supérieures de 3,71% par rapport à celles obtenues à l'aide du moule "Sonomold".
- Les résistances en compression les plus élevées sont obtenues par le béton prélevé dans des cylindres d'acier. Le pourcentage d'augmentation de résistance des éprouvettes confectionnées dans des moules d'acier par rapport à celles confectionnées dans des moules de carton est fonction de la sorte de moule de carton utilisé. Cette augmentation est de 2,18% par rapport aux éprouvettes provenant des moules de carton "Eastern" et de 5,82% par rapport au moule "Sonomold".
- L'augmentation de résistance obtenue par les cylindres de béton confectionnés dans des moules d'acier par rapport aux éprouvettes provenant des moules de carton, indépendamment de la sorte, est de 3,84%.
- L'utilisation du moule de plastique épais réutilisable donne des résultats de résistance comparables à ceux obtenus à l'aide du moule de carton "Eastern" et donne une augmentation de 3,56% par rapport aux éprouvettes confectionnées dans des moules de carton Sonomold.

- L'utilisation du moule de polystyrène expansé amène une diminution de l'ordre de 1,80% par rapport aux moules de carton.
- L'augmentation de résistance occasionnée par l'emploi du moule d'acier par rapport aux moules de carton ne semble pas liée à la résistance du béton pour des résistances comprises entre 25 et 45 MPa. (Voir tableau 19).
- L'utilisation d'un moule d'acier non étanché amène une augmentation de résistance de l'ordre d'environ 1% par rapport à un moule d'acier étanché.
- Les coefficients de variation (C.V.) des essais reliés à chaque type de moule, voir tableau 20, sont: pour l'acier non étanché, C.V. = 1,68%; pour le plastique épais, C.V. = 2,19%; pour le carton "Sonomold" = 2,64%; et pour le polystyrène expansé = 2,83%.
- Selon les conclusions de cette étude, basée sur 12 mélanges de béton, l'ordre décroissant des résistances des éprouvettes en regard des moules utilisés s'établit comme suit:
 - 1) Acier non étanché
 - 2) Plastique épais
 - 3) Acier étanché
 - 4) Carton "Eastern"
 - 5) Plastique mince
 - 6) Carton "Sonomold"
 - 7) Polystyrène expansé.

REFERENCES

- 1) Burmeister, Robert-A. "Test of Paper-Molds for Concrete Cylinders".
ACI Journal Proceeding, Vol. 47, No 1, Sept. 1950.
- 2) Cusens, A.R. "Strength of Concrete Test Cylinders Cast in Waxed Paper Molds".
ACI Journal, Mars 1964.
- 3) Henning, Norman-E. "Concrete Test Molds and Concrete Capping Materials".
ACI Journal Proceeding, Vol. 57, No 7, Janv. 1961.
- 4) Bester, Weston-T. "Testing High Strength Concrete".
ACI, Annual Convention, March 1979.
- 5) American Society for Testing Material - C 470-76
- 6) Association Canadienne de Normalisation - A 23.2-9C

Mélange No 1

Résistance demandée: 30 MPa

Adjuvant: ARE SEULEMENT

Type de ciment: Canada Lafarge - type 10

Date: 79-02-15

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
14:30	108	4,5	10
15:00	83	4,0	11
15:45	64	3,8	13

Résultats								
Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier étanché	Acier n-étanché	Polystyrène expansé	Moy.	σ	C.V. (%)
41,5	39,9	41,3	41,0	41,5	40,2	40,9	0,69	1,69
42,2	40,5	41,4	40,9	41,5	41,5	41,3	0,58	1,41
41,3	38,9	41,0	42,1	41,4	36,7	40,2	2,04	5,08
41,7	38,6	40,1	39,8	41,0	40,8	40,3	1,08	2,69
41,4	—	40,8	40,3	40,4	—	40,7	0,50	1,23
40,7	—	39,1	39,6	40,7	—	40,1	0,70	1,74
Moy.	41,5	39,5	40,7	40,6	41,1	39,8		
σ	0,49	0,88	0,77	0,92	0,46	2,13		
C.V. (%)	1,19	2,23	1,90	2,27	1,13	5,36		

RESISTANCES DU MELANGE NO 1

TABLEAU 1

Mélange No 2

Résistance demandée: 30 MPa

Adjuvant: ARE SEULEMENT

Type de ciment: Canada Lafarge - type 10

Date: 79-02-08

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
14:05	45	4,5	18
14:45	32	3,8	18
15:45	19	3,5	18

Type de moules	Résultats						Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier n-étanché	Acier étanché	Polystyrène expansé			
	40,8	37,3	39,8	37,8	38,7	40,8	39,2	1,50	3,84
	39,9	37,5	39,7	39,2	38,0	37,8	38,7	1,04	2,69
	39,2	36,7	38,6	38,4	37,3	37,0	37,9	1,00	2,65
	37,9	35,1	37,4	37,9	37,5	36,8	37,1	1,06	2,86
	37,3	32,9	37,0	36,6	38,7	36,7	36,5	1,94	5,30
	37,9	34,1	39,5	37,7	35,6	35,6	36,7	1,97	5,38
Moy.	38,8	35,6	38,7	37,9	37,6	37,5			
σ	1,36	1,87	1,22	0,86	1,16	1,79			
C.V. (%)	3,51	5,26	3,15	2,26	3,07	4,76			

RESISTANCES DU MELANGE NO 2

TABLEAU 2

Mélange No 3

Résistance demandée: 30 MPa

Adjuvant: ARE SEULEMENT

Type de ciment: Ciment Québec - type 10

Date: 79-02-20

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
14:00	70	3,3	22
15:00	51	3,1	21
15:40	25	3,4	22

Type de moules	Résultats						Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier étanché	Acier n-étanché	Polystyrène expansé			
	39,2	36,7	38,1	37,0	38,5	34,8	37,4	1,57	4,20
	36,6	35,3	36,4	37,5	36,1	34,9	36,1	0,94	2,59
	36,7	33,0	36,7	36,4	37,5	35,3	35,9	1,60	4,47
	36,8	35,7	36,9	35,8	36,0	34,8	36,0	0,78	2,16
	—	—	—	—	—	—			
	—	—	—	—	—	—			
Moy.	37,3	35,2	37,0	36,7	37,0	35,0			
σ	1,25	1,56	0,75	0,74	1,20	0,24			
C.V. (%)	3,36	4,45	2,03	2,01	3,24	0,68			

RESISTANCES DU MELANGE NO 3

TABLEAU 3

Mélange No 4

Résistance demandée: 30 MPa

Adjuvant: ARE SEULEMENT

Type de ciment: St-Laurent - type 10

Date: 79-04-11

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
15:05	115	1,9	10
15:35	100	1,8	11
16:15	75	—	11

Type de moules	Résultats					Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier non-étanché	Polystyrène expansé			
	32,3	31,2	32,1	32,9	31,0	31,9	0,79	2,48
	33,2	32,6	32,2	32,3	31,2	32,3	0,73	2,25
	31,7	31,2	32,2	32,3	31,0	31,7	0,51	1,83
	29,8	30,0	32,4	33,0	31,3	31,3	1,42	4,53
	31,1	27,6	31,1	32,5	29,2	30,3	1,91	6,31
	31,2	29,7	29,8	31,9	31,0	30,7	0,95	3,09
Moy.	31,6	30,4	31,6	32,5	30,8			
σ	1,16	1,71	1,01	0,41	0,79			
C.V. (%)	3,66	5,63	3,20	1,27	2,55			

RESISTANCES DU MELANGE NO 4

TABLEAU 4

Mélange No 5

Résistance demandée: 30 MPa

Adjuvant: ARE ET AEA

Type de ciment: St-Laurent - type 10

Date: 79-05-24

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
14:00	100	7,4	18
14:45	75	7,1	19

Type de moule	Résultats					Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier non-étanché	Polystyrène expansé			
	31,4	30,5	30,5	31,1	29,2	30,5	0,84	2,77
	30,2	31,4	31,6	31,8	29,4	30,9	1,04	3,35
	32,3	31,0	32,6	32,6	30,1	31,7	1,12	3,54
	32,1	31,0	32,0	31,9	30,9	31,6	0,58	1,84
	32,8	31,5	32,3	33,9	30,4	32,2	1,32	4,11
	31,7	32,6	30,9	34,0	31,3	32,1	1,23	3,85
Moy.	31,8	31,3	31,7	32,6	30,2			
σ	0,90	0,72	0,82	1,18	0,82			
C.V. (%)	2,83	2,30	2,59	3,63	2,71			

RESISTANCES DU MELANGE NO 5

TABEAU 5

Mélange No 6

Résistance demandée: 30 MPa

Adjuvant: ARE ET AEA

Type de ciment: Ciment Québec - type 10

Date: 79-06-26

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
15:00	100	7,0	24
16:00	68	6,8	27

Résultats								
Type de moule	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier non-étanché	Polystyrène expansé	Moy.	σ	C.V. (%)
	31,3	32,1	32,1	33,3	30,6	31,9	1,01	3,17
	31,8	30,5	—	33,4	30,7	31,0	1,84	5,92
	32,0	31,5	32,6	33,5	30,7	32,1	1,06	3,32
	31,4	32,7	33,4	33,8	32,0	32,6	0,98	3,02
	31,6	32,6	32,7	33,8	31,2	32,4	1,02	3,15
	31,6	32,6	33,2	34,7	32,1	32,8	1,22	3,72
Moy.	31,6	32,0	32,8	33,8	31,2			
σ	0,27	0,87	0,53	0,51	0,68			
C.V. (%)	0,85	2,72	1,62	1,51	2,18			

RESISTANCES DU MELANGE NO 6

TABLEAU 6

Mélange No 7

Résistance demandée: 35 PMa

Adjuvant: ARE et AEA

Type de ciment: Ciment St-Laurent - type 10

Date: 79-08-27

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
16:25	115	4,8	21
17:45	70	4,9	23

Type de moule	Résultats						Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier n-étanché	Polystyrène expansé	Tôle fer blanc			
	40,9	40,7	41,2	41,9	39,7	41,5	41,0	0,76	1,85
	40,9	40,2	42,1	42,1	40,2	42,4	41,3	1,01	2,44
	40,9	40,6	40,9	42,5	40,1	41,7	41,1	0,85	2,08
	40,4	40,3	40,7	42,3	39,3	41,5	40,8	1,04	2,55
	40,6	40,3	40,7	42,0	39,6	42,1	40,9	0,98	2,40
	38,7	39,9	40,7	42,4	40,3	40,7	40,5	1,21	2,99
Moy.	40,4	40,3	41,1	42,2	39,9	41,7			
σ	0,86	0,29	0,55	0,24	0,39	0,59			
C.V. (%)	2,13	0,72	1,34	0,57	0,98	1,42			

RESISTANCES DU MELANGE NO 7

TABLEAU 7

Mélange No 8

Résistance demandée: 25 MPa

Adjuvant: ARE et AEA

Type de ciment: Ciment St-Laurent - type 10

Date: 79-08-28

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
11:25	95	3,9	22
12:40	60	4,0	21

Type de moule	Résultats					Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Acier non-étanché	Polystyrène expansé			
	35,3	35,7	35,6	36,5	34,4	35,5	0,76	2,14
	34,3	35,5	36,0	36,0	34,2	35,2	0,89	2,53
	34,5	35,4	35,1	36,3	34,0	35,1	0,88	2,51
	35,4	35,6	34,9	36,3	34,5	35,3	0,69	1,95
	34,8	35,0	35,8	36,3	34,1	35,2	0,86	2,45
	33,9	35,7	35,6	36,2	—	35,4	1,00	2,83
Moy.	34,7	35,5	35,5	36,3	34,2			
σ	0,58	0,26	0,42	0,16	0,21			
C.V. (%)	1,67	0,73	1,18	0,44	0,61			

RESISTANCES DU MELANGE NO 8

TABEAU 8

Mélange No 9

Résistance demandée: 30 MPa

Adjuvant: ARE et AEA

Type de ciment: Ciment St-Laurent - type 30

Date: 79-12-18

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
9:30	85	7,6	20
10:55	60	7,3	22

Type de moule	Résultats						Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Plastique mince	Polystyrène expansé	Acier n-étanché			
	30,9	28,4	30,7	29,9	33,1	32,1	30,9	1,65	5,33
	30,1	29,0	29,1	30,4	29,5	32,3	30,1	1,22	4,07
	29,6	29,5	32,9	31,4	29,8	32,1	30,9	1,45	4,70
	30,6	29,4	32,0	30,6	30,4	32,9	31,0	1,25	4,04
	30,5	28,7	31,6	31,0	30,9	32,4	30,9	1,24	4,03
Moy.	30,3	29,0	31,3	30,7	30,7	32,4			
σ	0,5	0,46	1,44	0,57	1,43	0,33			
C.V. (%)	1,65	1,59	4,61	1,86	4,65	1,02			

RESISTANCES DU MELANGE NO 9

TABLEAU 9

Mélange No 10

Résistance demandée: 40 MPa

Adjuvant: ARE et AEA

Type de ciment: Indépendant - type 10

Date: 80-01-22

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
14:05	70	4,5	21
15:05	40	4,2	20

Type de moule	Résultats						Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Plastique mince	Polystyrène expansé	Acier			
	45,1	46,8	46,5	48,2	46,8	49,4	47,1	1,49	3,15
	47,3	45,4	46,6	47,1	44,2	50,3	46,8	2,07	4,42
	45,4	45,7	46,1	47,6	43,7	51,7	46,7	2,75	5,89
	46,7	45,4	45,1	47,5	45,6	50,3	46,8	1,95	4,17
	45,5	45,4	47,3	45,4	43,9	48,1	45,9	1,51	3,30
Moy.	46,0	45,7	46,3	47,2	44,8	50,0			
σ	0,95	0,61	0,81	1,06	1,32	1,33			
C.V. (%)	2,07	1,34	1,75	2,25	2,95	2,66			

RESISTANCES DU MELANGE NO 10

TABLEAU 10

Mélange No 11

Résistance demandée: 35 MPa

Adjuvant: ARE SEULEMENT

Type de ciment: Canada Lafarge - type 30

Date: 80-01-23

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
14:50	75	3,1	20
15:50	50	2,8	22

Type de moule	Résultats						Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Plastique mince	Acier	Polystyrène expansé			
	47,9	42,9	44,2	42,6	44,0	43,5	44,2	1,92	4,35
	47,1	41,7	43,2	43,1	43,9	41,7	43,5	1,99	4,58
	45,4	41,8	44,4	42,3	45,0	41,8	43,5	1,67	3,83
	47,8	42,0	43,2	41,6	44,3	44,3	43,9	2,23	5,09
	45,3	41,0	44,2	43,2	43,7	44,9	43,7	1,54	3,51
Moy.	46,7	41,9	43,8	42,6	44,2	43,2			
σ	1,27	0,68	0,59	0,65	0,51	1,45			
C.V. (%)	2,72	1,62	1,35	1,53	1,15	3,36			

RESISTANCES DU MELANGE NO 11

TABLEAU 11

Mélange No 12

Résistance demandée: 40 MPa

Adjuvant: ARE et AEA

Type de ciment: St-Laurent - type 10

Date: 80-01-28

Heure	Affaissement (mm)	% Air	Température (°C)
10:30	75	2,1	20
12:05	—	—	—

Type de moule	Résultats						Moy.	σ	C.V. (%)
	Eastern	Sonomold	Plastique épais	Plastique mince	Polystyrène expansé	Acier			
	50,4	45,4	47,8	47,7	45,1	47,7	47,4	1,93	4,07
	46,8	47,2	46,4	48,2	46,6	47,8	47,2	0,71	1,50
	47,8	46,1	46,7	47,5	44,8	47,9	46,8	1,20	2,56
	47,1	45,0	47,1	46,4	44,5	47,5	46,3	1,24	2,67
	47,8	43,4	45,9	46,6	42,7	46,7	45,5	2,02	4,43
Moy.	48,0	45,4	46,8	47,3	44,7	47,5			
σ	1,42	1,40	0,72	0,76	1,40	0,48			
C.V. (%)	2,96	3,08	1,54	1,61	3,13	1,01			

RESISTANCES DU MELANGE NO 12

TABLEAU 12

Type de moule	Mélange No	MPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			30	30	30	30	30	30	30	35	25	30	40	35
Carton	\bar{X}		41,5	38,8	37,3	31,6	31,8	31,6	40,4	34,7	30,3	46,0	46,7	48,0
	σ		0,49	1,36	1,25	1,16	0,90	0,27	0,86	0,58	0,50	0,95	1,27	1,42
	C.V.		1,19	3,51	3,36	3,66	2,84	0,85	2,13	1,67	1,65	2,07	2,72	2,96
Carton paraffiné	\bar{X}		39,5	35,6	35,2	30,4	31,4	32,0	40,3	35,5	29,0	45,7	41,9	45,4
	σ		0,88	1,87	1,56	1,71	0,72	0,87	0,29	0,26	0,46	0,61	0,68	1,40
	C.V.		2,23	5,26	4,45	5,63	2,30	2,72	0,72	0,73	1,59	1,34	1,62	3,08
Plastique 6 mm d'épais	\bar{X}		40,7	38,7	37,0	31,6	31,7	32,8	41,1	35,5	31,3	46,3	43,8	46,8
	σ		0,77	1,22	0,75	1,01	0,82	0,53	0,55	0,42	1,44	0,81	0,59	0,72
	C.V.		1,90	3,15	2,03	3,20	2,59	1,62	1,34	1,18	4,61	1,75	1,35	1,54
Plastique 3 mm d'épais	\bar{X}										30,7	47,2	42,6	47,3
	σ										0,57	1,06	0,65	0,76
	C.V.										1,86	2,25	1,53	1,61
Acier étanché	\bar{X}		40,6	37,6	36,7									
	σ		0,92	1,16	0,74									
	C.V.		2,27	3,07	2,01									
Acier non- étanché	\bar{X}		41,1	37,9	37,0	32,5	32,5	33,8	42,2	36,3	32,4	50,0	44,2	47,5
	σ		0,46	0,86	1,20	0,41	1,18	0,51	0,24	0,16	0,33	1,33	0,51	0,48
	C.V.		1,13	2,26	3,24	1,27	3,63	1,51	0,57	0,44	1,02	2,66	1,15	1,01
Polystyrène expansé	\bar{X}		39,8	37,5	35,0	30,8	30,2	31,2	39,9	34,2	30,4	44,8	43,2	44,7
	σ		2,13	1,79	0,24	0,79	0,82	0,68	0,39	0,21	1,43	1,32	1,45	1,40
	C.V.		5,36	4,76	0,68	2,55	2,71	2,18	0,98	0,61	4,65	2,95	3,36	3,13

TABLEAU 13

AUTRES MOULES VS MOULES DE CARTON "EASTERN"

DIFFERENCE EN POURCENTAGE

Etude No Type de moules	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	\bar{X}	Min.	Max.	Eten- due	
Sonomold	-2,41	-8,25	-5,6	-3,8	-1,26	+1,27	-0,25	+2,31	-4,41	-0,65	-10,28	-5,42	-3,23	-10,28	+2,31	12,59	
Plastique épais	-1,93	-0,26	-0,80	0	-0,32	+3,73	+1,73	+2,31	+3,03	+0,65	-6,21	-2,50	-0,05	-6,21	+3,73	9,94	
Plastique mince	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	+1,09	+2,61	-8,78	-1,46	-1,64	-8,78	2,61	11,39
Acier étanché	-2,17	-3,09	-1,61	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	-2,29	-3,09	-1,61	4,70	
Acier non étanché	-0,96	-2,32	-0,8	+2,9	+2,49	+6,8	+4,46	+4,61	+6,66	+8,70	-5,35	-1,04	+2,18	-5,35	8,70	14,05	
Polystyrène expansé	-4,10	-3,35	-6,17	-2,50	-4,79	-1,20	-1,24	-1,44	-1,32	-2,61	-7,50	-6,88	-3,37	-7,50	+1,32	8,82	

TABLEAU 14

AUTRES MOULES VS MOULES DE CARTON "SONOMOLD"

DIFFERENCE EN POURCENTAGE

Etude No Type de moules	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	\bar{X}	Min.	Max.	Eten- due
Eastern	+5,0	+9,0	+6,0	+4,0	+1,28	-1,25	+0,25	-2,25	+4,62	+0,66	+11,46	+5,73	+3,71	-2,25	11,46	13,71
Plastique épais	+3,0	+8,7	+5,1	+4,0	+0,96	+2,44	+1,98	0	+7,79	+1,13	+4,54	+3,08	+3,56	0	8,7	8,7
Plastique mince	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	+5,76	+3,28	+1,67	+4,19	+3,73	1,67	-5,76	4,09
Acier étanché	+2,8	+5,6	+4,3	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	+4,23	2,8	-5,6	2,8
Acier non étanché	+4,0	+6,5	+5,0	+7,0	+3,8	+5,47	+4,72	+2,25	+11,59	+9,41	+5,49	+4,63	+5,82	3,8	11,59	7,79
Polystyrène expansé	+0,8	+5,3	-0,6	+1,3	-3,57	-2,44	-1,0	-3,66	+6,00	-1,97	+3,10	-1,54	+0,14	-3,66	+6,0	9,66

TABLEAU 15

AUTRES MOULES VS MOULES DE CARTON "SONOMOLD ET EASTERN" ENSEMBLE

DIFFERENCE EN POURCENTAGE

Type de moules	Etude No												\bar{X}	Min.	Max.	Eten- due
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Plastique épais	0	+4,03	+1,93	+1,94	+0,64	+0,63	+1,73	+0,85	+5,39	+2,18	-1,12	+0,21	+1,53	-1,12	+5,39	6,51
Plastique mince	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	+3,37	+2,83	-3,84	+1,29	+0,83	-3,84	+3,37	7,21
Acier étanché	-0,25	+1,09	0	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	+0,28	-0,25	1,08	1,33
Acier non étanché	+0,98	+1,88	+1,93	+4,84	+3,18	+6,13	+4,46	+3,13	+9,09	+8,93	-0,23	+1,71	+3,84	-0,23	+9,09	9,32
Polystyrène expansé	-2,21	+0,81	-3,58	-0,65	-4,13	-1,89	-1,24	-2,84	+3,37	-2,40	-2,48	-4,28	-1,80	-4,28	+3,37	7,65

TABLEAU 16

POURCENTAGE MOYEN D'AUGMENTATION OU DE DIMINUTION DE RESISTANCE DES EPROUVETTES

DIFFERENTS MOULES VS MOULES DE CARTON

Pourcentage moyen établi après 12 mélanges

% d'augmentation (diminution) p/r à	Acier non-étanché	Acier étanché	Plastique épais	Plastique mince	Polystyrène expansé	Eastern	Sonomold
Eastern	+ 2,18	- 2,29	- 0,05	- 1,64	- 3,37	—	- 3,23
Sonomold	+ 5,82	+ 4,23	+ 3,56	+ 3,73	+ 0,14	+ 3,71	—
Carton Eastern + Sonomold ensemble	+ 3,84	+ 0,28	+ 1,53	+ 0,83	- 1,80	—	—

TABLEAU 17

POURCENTAGE D'AUGMENTATION OU DE DIMINUTION DE LA RESISTANCE DES EPROUVETTES
 EN FONCTION DE LA RESISTANCE DEMANDEE
 DIFFERENTS MOULES VS MOULES DE CARTON

	p/r à Eastern					p/r à Sonomold					p/r aux 2 cartons			
	Sonomold	Plastique épais	Plastique mince	Acier non étanché	Polystyrène expansé	Eastern	Plastique épais	Plastique mince	Acier non étanché	Polystyrène expansé	Acier non étanché	Plastique mince	Plastique épais	Polystyrène expansé
25 MPa	+2,31	+2,31	___	+4,61	-1,44	-2,25	0	___	+2,25	-3,66	+3,13	___	+0,85	-2,84
30 MPa	-3,50	+0,49	___	+2,11	-2,97	+4,09	+4,57	___	+6,19	+0,97	+4,00	___	+2,08	-1,18
35 MPa	-5,27	-2,24	___	-0,45	-4,37	+5,86	+3,26	+1,67	+5,11	+1,05	+2,12	___	+0,31	-1,86
40 MPa	-3,04	-0,93	+0,58	+3,83	-4,75	+3,20	+2,11	+3,74	-7,02	-1,76	+5,32	2,06	+1,20	-3,34
Moyenne	-2,38	0	___	+2,53	-3,38	+2,73	+2,49	___	+6,14	-0,85	+3,64	___	+1,11	-2,31

TABLEAU 18

TABLEAU 19

POURCENTAGE D'AUGMENTATION OU DE DIMINUTION DE RÉSISTANCE DES EPROUVETTES
 CAUSE PAR LE TYPE DE MOULE VS LA RÉSISTANCE MOYENNE DE
 L'ENSEMBLE DES RESULTATS POUR UN MELANGE DONNE

Mélange No	Nombre de cylindres cassés	Moyenne (MPa)	Ecart-type (MPa)	Coefficient de variation (%)	Carton "Eastern"	Carton "Sonomold"	Acier non étanché	Acier étanché	Polystyrène expansé	Plastique mince	Plastique épais
1	32	40,6	1,12	2,76	+2,22	-2,71	+1,23	0	-1,97	___	+0,25
2	36	37,7	1,70	4,51	+2,92	-5,57	+0,53	-0,27	-0,53	___	+2,65
3	24	36,4	1,34	3,68	+2,47	-3,30	+1,65	+0,82	-3,85	___	+1,65
4	30	31,4	1,26	4,02	+0,64	-3,19	+3,50	___	-1,90	___	+0,64
5	30	31,5	1,13	3,60	+0,79	-0,48	+3,30	___	-4,03	___	+0,48
6	29	32,3	1,09	3,38	-1,95	-0,81	+4,62	___	-3,22	___	+1,61
7	36	40,9	0,95	2,33	-1,22	-1,47	+3,08	___	-2,45	___	+0,5
8	29	35,3	0,78	2,21	-1,70	+0,57	+2,83	___	-3,12	___	+0,47
9	30	30,7	1,32	4,30	-1,27	-5,63	+5,30	___	+0,03	-0,20	+1,73
10	30	46,7	1,91	4,09	-1,50	-2,15	+7,07	___	-4,07	+1,07	-0,86
11	30	43,7	1,77	4,06	+6,87	-4,12	+1,14	___	-1,14	-2,52	+0,23
12	30	46,6	1,55	3,32	+3,00	-2,58	+1,93	___	-4,08	+1,50	+0,43

Résultats inférieurs à la moyenne (-)

5 11 0 1 11 2 1

Résultats supérieurs à la moyenne (+)

7 1 12 1 1 2 11

Résistance au-dessus ou égale à la moyenne (%)

58 8,3 100 66 8,3 50 92

COEFFICIENT DE VARIATION MOYEN (12 MELANGES)

POUR CHAQUE TYPE DE MOULES

Type de moule	C.V. (%)
1) Plastique mince	1,62 (a)
2) Acier non étanché	1,68
3) Plastique épais	2,19
4) Carton "Eastern"	2,38
5) Acier étanché	2,45 (b)
6) Carton "Sonomold"	2,64
7) Polystyrène expansé	2,83

(a) Seulement 4 mélanges ont servi à établir ce coefficient de variation

(b) Seulement 3 mélanges ont servi à établir ce coefficient de variation

TABLEAU 20

Type de moule	Mélange No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	MPa	30	30	30	30	30	30	35	25	30	40	35	40
Carton	\bar{X}	41,5	38,8	37,3	31,6	31,8	31,6	40,4	34,7	30,3	46,0	46,7	48,0
	σ	0,49	1,36	1,25	1,16	0,90	0,27	0,86	0,58	0,50	0,95	1,27	1,42
	C.V.	1,19	3,51	3,36	3,66	2,84	0,85	2,13	1,67	1,65	2,07	2,72	2,96
Carton paraffiné	\bar{X}	39,5	35,6	35,2	30,4	31,4	32,0	40,3	35,5	29,0	45,7	41,9	45,4
	σ	0,88	1,87	1,56	1,71	0,72	0,87	0,29	0,26	0,46	0,61	0,68	1,40
	C.V.	2,23	5,26	4,45	5,63	2,30	2,72	0,72	0,73	1,59	1,34	1,62	3,08
Plastique 5 mm d'épais	\bar{X}	40,7	38,7	37,0	31,6	31,7	32,8	41,1	35,5	31,3	46,3	43,8	46,8
	σ	0,77	1,22	0,75	1,01	0,82	0,53	0,55	0,42	1,44	0,81	0,59	0,72
	C.V.	1,90	3,15	2,03	3,20	2,59	1,62	1,34	1,18	4,61	1,75	1,35	1,54
Plastique mince 2 mm d'épais	\bar{X}									30,7	47,2	42,6	47,3
	σ									0,57	1,06	0,65	0,76
	C.V.									1,86	2,25	1,53	1,61
Acier étanché 6 mm d'épais	\bar{X}	40,6	37,6	36,7									
	σ	0,92	1,16	0,74									
	C.V.	2,27	3,07	2,01									
Acier non-étanché 6 mm d'épais	\bar{X}	41,1	37,9	37,0	32,5	32,5	33,8	42,2	36,3	32,4	50,0	44,2	47,5
	σ	0,46	0,86	1,20	0,41	1,18	0,51	0,24	0,16	0,33	1,33	0,51	0,48
	C.V.	1,13	2,26	3,24	1,27	3,63	1,51	0,57	0,44	1,02	2,66	1,15	1,01
Polystyrène expansé	\bar{X}	39,8	37,5	35,0	30,8	30,2	31,2	39,9	34,2	30,4	44,8	43,2	44,7
	σ	2,13	1,79	0,24	0,79	0,82	0,68	0,39	0,21	1,43	1,32	1,45	1,40
	C.V.	5,36	4,76	0,68	2,55	2,71	2,18	0,98	0,61	4,65	2,95	3,36	3,13