



Gouvernement du Québec  
Ministère  
des Transports

Laboratoire central

1988

UTILISATION DE CAROTTES POUR L'ACCEPTATION  
DU BETON ET VARIATION DES CARACTERISTIQUES DU  
BETON FRAIS TRANSPORTE PAR CAMION  
A BENNE BASCULANTE

CANQ  
TR  
GE  
SM  
232



920601

UTILISATION DE CAROTTES POUR L'ACCEPTATION  
DU BETON ET VARIATION DES CARACTERISTIQUES DU  
BETON FRAIS TRANSPORTE PAR CAMION  
A BENNE BASCULANTE

PAR

A. CLAVEAU, TECH.

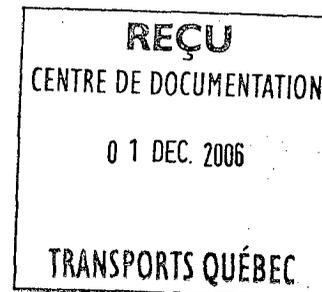
ET

DANIEL VEZINA, ING.  
RESPONSABLE - SECTION BETON CIMENT

Sainte-Foy, le 9 septembre 1988

*Dépôt*

CANQ  
TR  
GE  
SM  
232



## TABLE DES MATIERES

|  | PAGE |
|--|------|
| 1.0 INTRODUCTION .....   | 1    |
| 2.0 BUT .....  | 1    |
| 3.0 PROCEDURE .....  | 2    |
| 3.1 PRÉLEVEMENT DES SPÉCIMENS .....                                | 2    |
| 3.2 MÉTHODE D ESSAIS .....   | 3    |
| 3.3 RÉALISATION DES ESSAIS .....                                   | 4    |
| 4.0 RESULTATS  |      |
| 4.1 RELATION CAROTTES-CYLINDRES .....                              | 5    |
| 4.2 VARIATION DES PARAMETRES ENTRE L USINE<br>ET LE CHANTIER ..... | 6    |
| 4.2.1 L AFFAISSEMENT .....   | 7    |
| 4.2.2 L AIR ENTRAÎNÉ .....   | 8    |
| 4.2.3 RÉSISTANCE A LA COMPRESSION A 28 JOURS .                     | 8    |
| 4.2.4 CARACTERISTIQUES DES VIDES DANS LE BETON<br>DURCI .....      | 10   |
| 4.2.5 ESSAIS DE GEL ET DÉGEL .....                                 | 11   |
| 5.0 CONCLUSION .....   | 12   |
| ANNEXE .....   | 13   |

## 1.0 INTRODUCTION

A l'heure actuelle, le processus normal d'acceptation du béton utilisé pour la construction de chaussées en béton consiste à prélever des échantillons cylindriques et à effectuer l'essai après 7 et 28 jours soit à l'usine ou au chantier. L'application du système d'ajustement du prix unitaire du béton exige une cadence d'échantillonnage élevée, ce qui cause de nombreux problèmes particulièrement lors de coulées continues de béton où le volume journalier est très élevé; ce qui est le cas pour les chaussées en béton.

Afin de diminuer le prélèvement des spécimens de béton frais nous avons étudié la possibilité d'effectuer le contrôle de la qualité du béton, utilisé pour les chaussées, à partir de carottes prélevées à un âge donné.

## 2.0 BUTS

Le premier but est de définir la relation qui existe entre la résistance à la compression des cylindres et celle des carottes à l'âge de 7 et 28 jours. En plus de trouver cette relation, il est nécessaire de déterminer la fiabilité de cette relation et d'évaluer s'il est possible de l'utiliser avec confiance.

Le second but consiste à évaluer la variation des différents paramètres entre le prélèvement effectué à l'usine et celui prélevé au chantier. Ces paramètres sont: l'affaissement, le % d'air entraîné dans le béton frais, la résistance à la compression. En plus une évaluation des caractéristiques du réseau de vides dans le béton durci est déterminé afin de connaître exactement la nature des vides dans le béton mis en place.

### 3.0 PROCEDURE

Le chantier utilisé pour la réalisation de cette étude est la construction de l'autoroute 40 à Batiscan. Ce chantier est couvert par les trois (3) contrats suivants: 432-0203-4, 432-0904-2 et 432-0905-0. Ce chantier avait une longueur d'environ 18 km et 25 sites répartis au hasard ont été sélectionnés.

#### 3.1 Prélèvement des spécimens

Afin de réaliser la première partie de l'étude la procédure suivante a été suivie:

- Dès l'arrivée du camion au chantier et après déversement du béton devant la paveuse à coffrage coulissant, la quantité nécessaire de béton était prélevée pour la réalisation des essais suivants:
  - 1) Détermination du % d'air (consolidation avec le vibreur).
  - 2) Détermination de l'affaissement du béton.
  - 3) Confection de 6 cylindres standards destinés aux essais de résistance à la compression.
  - 4) Confection de 3 prismes destinés à l'essai de gel et dégel.
- Une fois le prélèvement des spécimens complétés ceux-ci sont placés dans un contenant hermétique en présence de glace de façon à conserver la température ambiante entre 15 et 25°C pour le premier 24 heures. Un enregistreur graphique est placé à l'intérieur du contenant de façon à pouvoir suivre l'évolution de la température au cours du premier 24h de mûrissement. Après le mûrissement initial, les spécimens sont démontés et acheminés au Laboratoire Central où ils sont conservés en chambre humide jusqu'au moment des essais.

- Le prélèvement des carottes de béton est effectué après 5 jours de mûrissement du béton de la dalle. Un total de 7 carottes est prélevé à l'emplacement exact où le béton frais a été échantillonné de façon à pouvoir comparer les résultats. Toutes les carottes ont été conservées dans l'eau saturée de chaux jusqu'au moment des essais.

### 3.2 Méthode d'essais

Tous les essais réalisés sur le béton frais ou durci sont conformes aux exigences suivantes:

#### - Béton frais

1. Détermination de l'affaissement du béton. ACNOR A 23.2-5C
2. Détermination de la teneur en air du béton par la méthode de pression d'air. ACNOR A 23.2-4C
3. Confection et cure d'éprouvettes de béton destinées aux essais de compression et de flexion. ACNOR A 23.2-3C

#### - Béton durci

1. Détermination de la résistance à la compression d'éprouvettes cylindriques de béton. ACNOR A 23.2-9C
2. Prélèvement et détermination de la résistance à la compression de carottes de béton. ACNOR A 23.2-14C
3. Microscopical Determination of air-void content and Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete (Method: Modified Point Count) ASTM C 457
4. Specific gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete. ASTM C 642
5. Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Method B. ASTM C 666

### 3.3 Réalisation des essais

La détermination de la relation carotte-cylindre est basée uniquement sur les résistances à la compression obtenues sur ces 2 types de spécimens à un âge identique.

- Spécimen utilisé :
- Cylindre de plastique en polyuréthane de 150 X 300 mm (mesure arrondie). Conservé en chambre humide jusqu'à l'âge de l'essai.
  - Carotte de 100 mm  $\varnothing$  X 180 mm de hauteur de façon à obtenir un rapport L/d constant à 1.80. Conservée dans l'eau jusqu'à l'âge de l'essai.
  - Gel et dégel, prismes de 75 X 100 X 410 mm.
- Age des essais :
- Des essais de compression sur carottes et cylindres sont effectués après 7 et 28 d de mûrissement.
  - Les essais de gel et dégel débutent dès que le béton atteint 14 d.
- Nombre de spécimens :
- Pour chacun des âges, soit 7 et 28d, trois (3) cylindres et trois (3) carottes sont soumis à l'essai de résistance à la compression.
  - Pour l'essai de gel et dégel, trois (3) spécimens servent à l'essai.
  - En ce qui concerne la teneur en air dans le béton durci ainsi que l'absorption, une (1) carotte de béton est nécessaire.

#### 4.0 RESULTATS

Les histogrammes des résultats ainsi que le tableau complet de tous les résultats sont fournis en annexe.

#### 4.1 Relation carotte-cylindre

La relation carotte-cylindre obtenue à partir des résistances à 7 et 28 jours est résumée au tableau 1 ci-dessous.

TABLEAU 1  
RESISTANCE OBTENUE A L'AIDE DE CAROTTES ET DE CYLINDRES

|          |                       | Compression (MPa)<br>à 7d |          |          | Compression (MPa)<br>à 28 d |          |         |
|----------|-----------------------|---------------------------|----------|----------|-----------------------------|----------|---------|
|          |                       | Carotte                   | Cylindre | % ca/cyl | Carotte                     | Cylindre | %ca/cyl |
| CIMENT A | Nombre d'échantillon* | 3                         | 3        | ---      | 3                           | 3        | ---     |
|          | R min.                | 21.8                      | 28.8     | 75.7     | 32.4                        | 37.0     | 86.8    |
|          | R max.                | 27.5                      | 32.7     | 84.1     | 34.9                        | 37.9     | 93.1    |
|          | R moyen               | 25.1                      | 31.1     | 80.4     | 33.4                        | 37.5     | 89.2    |
|          | Ecart-type            | 3.0                       | 2.1      | 43       | 1.3                         | 0.5      | 3.4     |
|          | Coefficient var.      | 12.0                      | 6.8      | 5.3      | 3.9                         | 1.3      | 3.8     |
| CIMENT B | Nombre d'échantillon* | 12                        | 12       | ----     | 12                          | 12       | ----    |
|          | R min.                | 18.0                      | 20.2     | 73.5     | 20.9                        | 25.6     | 70.4    |
|          | R max.                | 23.9                      | 27.7     | 95.1     | 29.9                        | 32.5     | 110.5   |
|          | R moyen               | 21.4                      | 24.3     | 88.3     | 26.3                        | 30.1     | 87.9    |
|          | Ecart-type            | 1.6                       | 2.0      | 6.5      | 2.4                         | 2.1      | 11.0    |
|          | Coefficient var.      | 7.5                       | 8.2      | 7.4      | 9.1                         | 7.0      | 12.5    |
| CIMENT C | Nombre d'échantillon* | 10                        | 10       | ----     | 10                          | 10       | ----    |
|          | R min.                | 21.0                      | 25.6     | 80.3     | 26.3                        | 30.3     | 76.4    |
|          | R max.                | 25.8                      | 30.4     | 95.2     | 30.8                        | 35.8     | 91.7    |
|          | R moyen               | 23.8                      | 27.7     | 86.0     | 28.1                        | 34.1     | 82.6    |
|          | Ecart-type            | 1.6                       | 1.6      | 4.4      | 1.6                         | 1.8      | 5.2     |
|          | Coefficient var.      | 6.7                       | 5.8      | 5.1      | 5.7                         | 5.3      | 6.3     |
| TOTAL    | Nombre                | 25                        | 25       | -----    | 25                          | 25       | -----   |
|          | R min (MPa)           | 18.0                      | 20.2     | 73.5     | 20.9                        | 25.6     | 70.4    |
|          | R max. (MPa)          | 27.5                      | 32.7     | 95.2     | 34.9                        | 37.9     | 110.5   |
|          | R moyen (MPa)         | 22.8                      | 26.5     | 86.5     | 27.9                        | 32.6     | 85.9    |
|          | Ecart-type            | 2.2                       | 2.9      | 5.9      | 3.0                         | 3.2      | 8.6     |
|          | Coefficient var. (%)  | 9.7                       | 10.9     | 6.8      | 10.8                        | 9.8      | 10.0    |

\* 1 échantillon est la moyenne de 3 essais.

Comme on peut le constater, le rapport de la résistance à la compression obtenu à l'aide des carottes en fonction de celle obtenue sur les cylindres standards est très variable. A l'âge de 7 jours, on peut obtenir un rapport carotte-cylindre variant de 73.5% à 95.2% alors qu'à 28 jours le rapport peut s'étaler entre 70.4% et 110.5%. Cependant, d'une façon globale le rapport carotte-cylindre est de 86.5% avec un c.v. de 6.8% à l'âge de 7 jours et il est de 85.9% avec un c.v. de 10% à l'âge de 28 jours. A l'intérieur de ce même contrat, en prenant pour acquis que le mélange de béton est constant, on remarque une variation de la relation carotte-cylindre en fonction du fournisseur de ciment. On constate donc que l'article 17.6 de l'ACNOR qui spécifie que la résistance d'un béton peut être considérée comme adéquate si, la résistance obtenue à l'aide de carottes représente  $0.85 f'c$  est pleinement justifiée.

#### 4.2 Variation des paramètres entre l'usine et le chantier

##### 4.2.1 L'affaissement

Un essai d'affaissement était effectué à l'usine, au départ du camion; comme le béton était transporté à l'aide du camion conventionnel à benne ouverte, sur une distance d'environ 15 km, il y avait une perte d'affaissement durant le trajet et la période d'attente au chantier. Les résultats sont résumés au tableau 2.

TABLEAU 2

PERTE D'AFFAISSEMENT ENTRE L'USINE ET LE CHANTIER

|          | AFFAISSEMENT (mm) |          |            |
|----------|-------------------|----------|------------|
|          | Usine             | Chantier | Diff. (mm) |
| Ciment A | 52.0              | 35.0     | - 17.0     |
| Ciment B | 71.8              | 53.6     | - 18.2     |
| Ciment C | 77.3              | 36.0     | - 41.3     |
| TOTAL    | 73.1              | 44.3     | - 28.8     |

La perte moyenne d'affaissement du béton entre l'usine et le chantier est de 28.8 mm; cette perte d'affaissement s'étend de 18.2 mm à 41.3 mm en moyenne selon le fournisseur de ciment. Le béton confectionné à l'aide d'un certain ciment a une forte tendance à perdre rapidement son affaissement alors qu'un autre ciment a une tendance moins forte.

#### 4.2.2 Pourcentage d'air entraîné

De la même façon, nous avons évalué quelle différence il pourrait y avoir dans le contenu en air entraîné entre le béton de l'usine et celui du chantier. A l'usine, la consolidation du béton était effectuée à l'aide d'un vibreur interne alors qu'au chantier deux essais ont été effectués mais avec deux types de consolidation du béton dans le ciment sont: vibration interne et pilonnage. Les résultats obtenus sont résumés au tableau 3.

TABLEAU 3

VARIATION DU POURCENTAGE D'AIR ENTRE L'USINE ET LE CHANTIER

|          | POURCENTAGE D'AIR ENTRAINE |           |           |                      |
|----------|----------------------------|-----------|-----------|----------------------|
|          | Usine<br>(Vibration)       | Chantier  |           | Diff.<br>(Vibration) |
|          |                            | Pilonnage | Vibration |                      |
| Ciment A | 6.5                        | 4.6       | 5.0       | - 1.5                |
| Ciment B | 7.1                        | 5.9       | 5.5       | - 1.6                |
| Ciment C | 7.2                        | 5.8       | 6.0       | - 1.2                |
| TOTAL    | 7.1                        | 5.7       | 5.7       | - 1.4                |

La perte d'air entraîné moyenne entre l'usine et le chantier est de 1.4%. Encore une fois, cette perte est variable selon le fournisseur de ciment. En plus d'être dépendante du ciment cette perte d'air varie aussi en fonction de l'affaissement du béton. Un béton avec un faible affaissement a moins tendance à perdre son air entraîné; ceci est confirmé par nos résultats. Avec une perte de 41 mm, la perte d'air est de 1.2% alors qu'avec une perte d'affaissement d'environ 18 mm la perte d'air est de 1.6%.

#### 4.2.3 Résistance à la compression à 28 jours

Le Service des Centres Régionaux, dans le cadre du contrôle de la qualité du béton a prélevé à l'usine des échantillons de béton et effectués des essais à 7 et 28 jours. De même en chantier,

à partir des mêmes camions, des échantillons de béton ont été prélevés de façon identiques, à l'aide de moules identiques, mais cuvés en chantier dans des conditions standards. Les résultats des essais effectués au Centre Régional de Trois-Rivières et au Laboratoire Central sont donnés au tableau 4.

TABLEAU 4  
RESISTANCE EN COMPRESSION A 28 JOURS

|          |           | Résistance en compression à 28 jours |                     | Test sur la moyenne *                    |
|----------|-----------|--------------------------------------|---------------------|--|
|          |           | C.R. de Trois Riv.                   | Laboratoire Central |  |
| Ciment A | $\bar{x}$ | 36.6                                 | 37.5                | Z= 1.88 Aucune différence significative. |
|          | $\sigma$  | 0.57                                 | 0.45                |  |
| Ciment B | $\bar{x}$ | 30.5                                 | 30.1                | Z= 1.37 Aucune différence significative. |
|          | $\sigma$  | 1.4                                  | 2.1                 |  |
| Ciment C | $\bar{x}$ | 32.0                                 | 34.1                | Z= 3.00 Différence significative.        |
|          | $\sigma$  | 1.2                                  | 1.8                 |  |
| TOTAL    | $\bar{x}$ | 31.6                                 | 32.6                | Z= 1.28 Aucune différence significative. |
|          | $\sigma$  | 1.2                                  | 3.2                 |  |

\* NOTE: Un test statistique a été effectué sur la moyenne de façon à évaluer s'il y a une différence significative entre les 2 résultats.

L'hypothèse  $H_0$  = il n'y a pas de différence significative entre les deux moyennes si

$$-1.96 < Z < 1.96 \text{ au seuil de 95\%}$$

D'une façon générale, il n'y a pas de différence significative entre les résultats de résistance à 28 jours. Par contre, si on tient compte du fournisseur de ciment on remarque qu'il y a une différence pour le ciment C. Dans ce cas les résultats du Laboratoire Central sont plus élevés et ceci d'une façon significative.

4.2.4 Caractéristiques des vides dans le béton durci

TABLEAU 5

| Site No | % air | (mm)  | $\lambda$ (mm <sup>-1</sup> ) | $\bar{L}$ (um) |
|---------|-------|-------|-------------------------------|----------------|
| S-1     | 7.0   | 0.185 | 21.6                          | 129            |
| S-4     | 6.6   | 0.264 | 15.1                          | 240            |
| S-7     | 7.3   | 0.254 | 15.7                          | 239            |
| S-9     | 7.4   | 0.148 | 27.0                          | 101            |
| S-10    | 8.8   | 0.254 | 15.8                          | 193            |
| S-14    | 11.0  | 0.164 | 24.4                          | 62             |
| S-15    | 7.2   | 0.249 | 16.1                          | 226            |
| S-16    | 7.6   | 0.249 | 16.1                          | 218            |
| S-18    | 8.5   | 0.194 | 20.6                          | 92             |
| S-20    | 8.1   | 0.159 | 25.2                          | 90             |
| S-21    | 5.6   | 0.276 | 14.4                          | 134            |
| S-22    | 8.9   | 0.267 | 15.0                          | 155            |
| S-24    | 6.0   | 0.224 | 17.9                          | 223            |
| S-25    | 5.7   | 0.189 | 21.1                          | 168            |

4.2.5 Essais gel et dégel

Voir annexe Tableau des résultats

## 5.0 CONCLUSION

D'une façon générale, l'utilisation de carottes de béton pour l'acceptation de la qualité du béton servant à un projet est un moyen peu sûr et peu fiable. Les variations de résistance obtenues rendent cette procédure inacceptable face à l'application du système de pénalité actuellement en vigueur au Québec.

Les causes de ces variations sont multiples; on peut en déterminer quelques-unes avec cette étude:

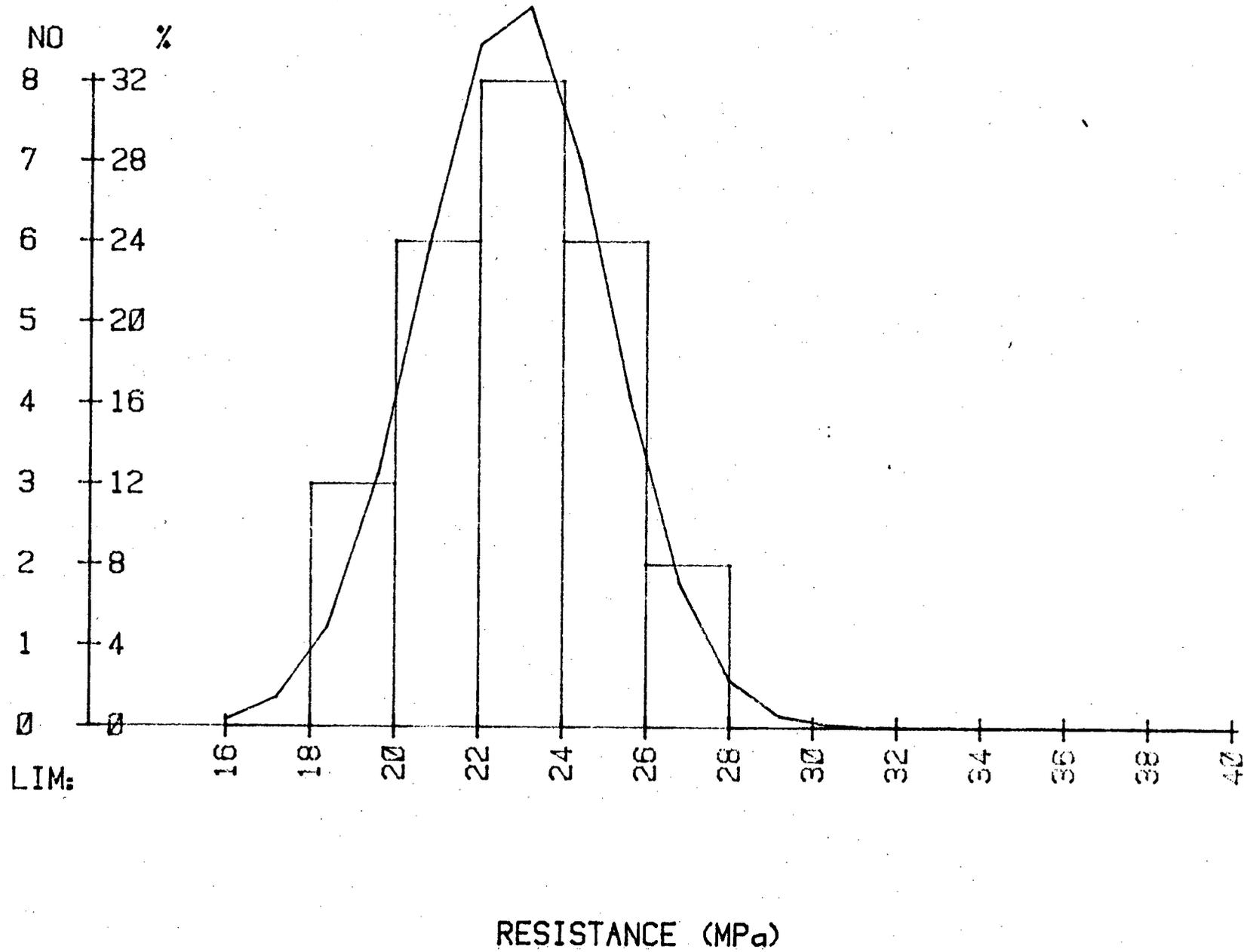
- Les variations engendrées par les différents ciments.
- La présence de vides à l'intérieur du béton dû à un manque de consolidation.
- Les différences dans le mûrissement en place.
- Les variations des matières premières.
- La variation des proportions du mélange.

En ce qui concerne l'utilisation de camion à benne pour le transport du béton frais, cette technique a eu quelques effets sur les caractéristiques du béton frais mais aucun dommage n'a été remarqué sur la performance du béton durci.

ANNEXE



# HISTOGRAMME DES CAROTTES A 7 JOURS



## CELL STATISTICS

CAROTTES A 7 JOURS - 16 -

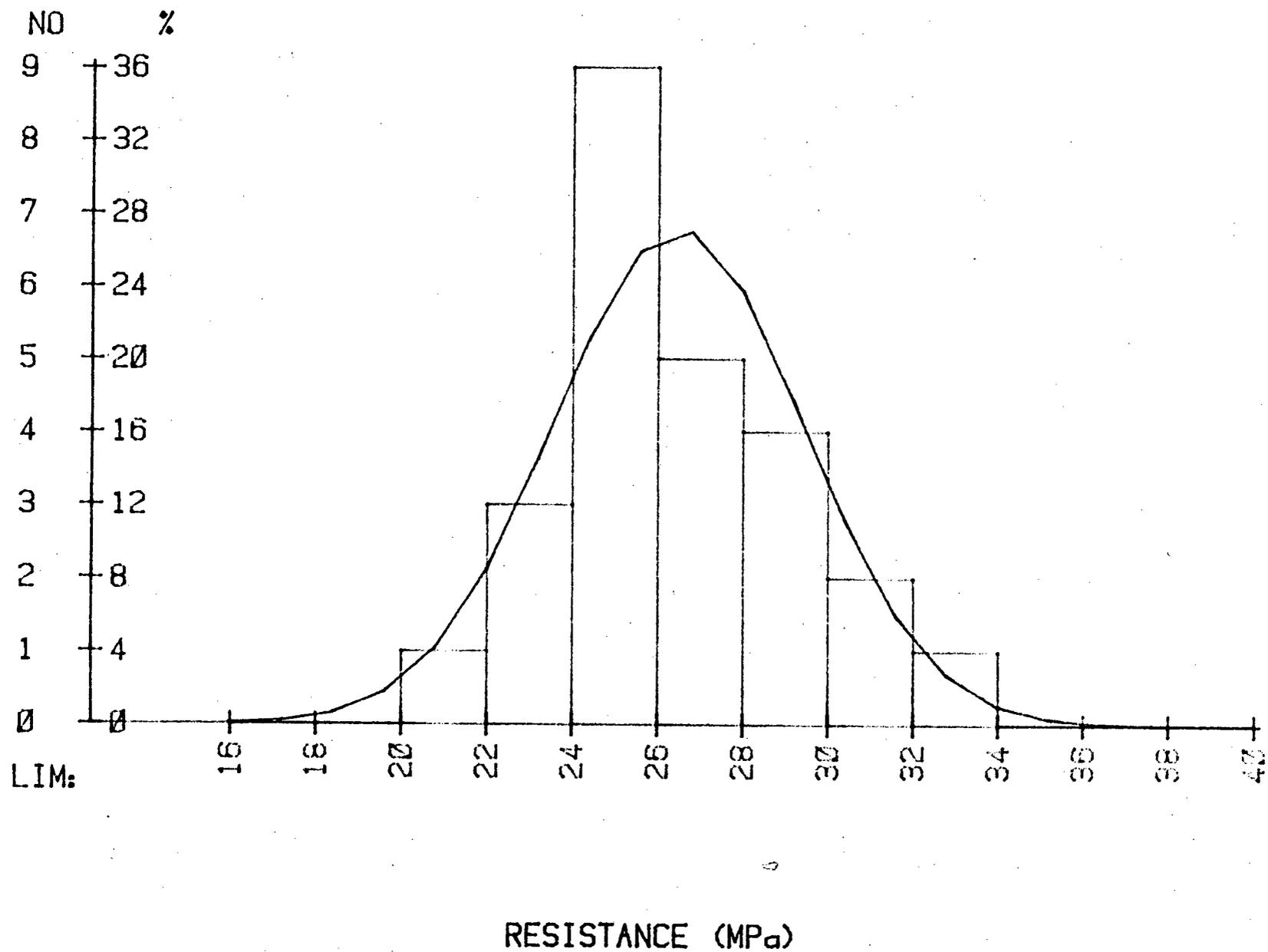
| CELL# | LOWER<br>LIMIT | NUMBER<br>OF OBS. | %RELATIVE<br>FREQUENCY |
|-------|----------------|-------------------|------------------------|
| 2     | 18.00          | 3                 | 12.00                  |
| 3     | 20.00          | 6                 | 24.00                  |
| 4     | 22.00          | 8                 | 32.00                  |
| 5     | 24.00          | 6                 | 24.00                  |
| 6     | 26.00          | 2                 | 8.00                   |

MOYENNE = 22.816

ECART-TYPE = 2.20485827209

COEFFICIENT DE VARIATION = 9.66364950951

# HISTOGRAMME DES CYLINDRES A 7 JOURS



CELL STATISTICS

CYLINDRE A 7 JOURS

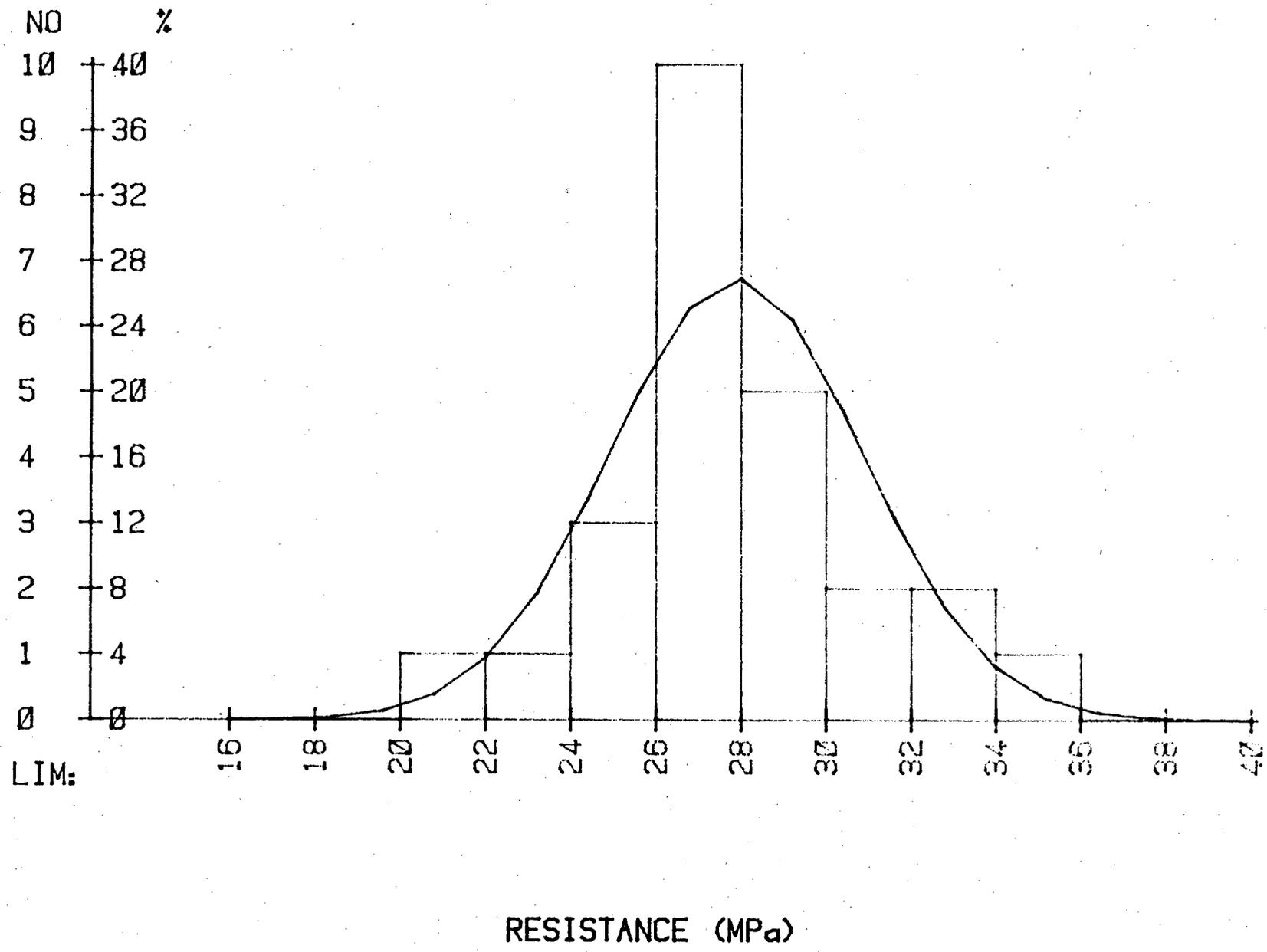
| CELL# | LOWER<br>LIMIT | NUMBER<br>OF OBS. | %RELATIVE<br>FREQUENCY |
|-------|----------------|-------------------|------------------------|
| 3     | 20.00          | 1                 | 4.00                   |
| 4     | 22.00          | 3                 | 12.00                  |
| 5     | 24.00          | 9                 | 36.00                  |
| 6     | 26.00          | 5                 | 20.00                  |
| 7     | 28.00          | 4                 | 16.00                  |
| 8     | 30.00          | 2                 | 8.00                   |
| 9     | 32.00          | 1                 | 4.00                   |

MOYENNE = 26.488

ECART-TYPE = 2.94056683878

COEFFICIENT DE VARIATION = 11.1015057338

# HISTOGRAMME DES CAROTTES A 28 JOURS



CELL STATISTICS

CAROTTES A 28 JOURS

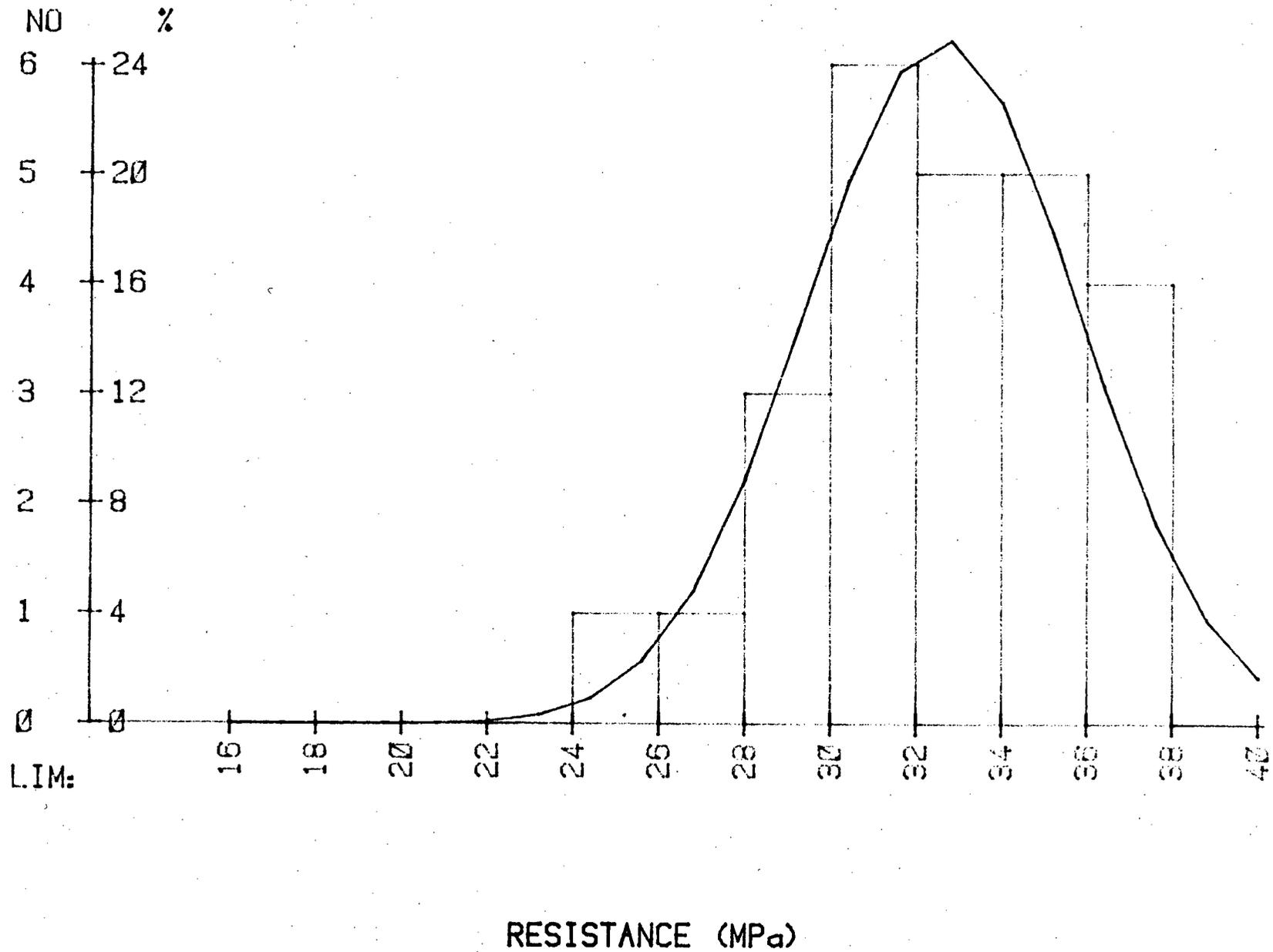
| CELL# | LOWER<br>LIMIT | NUMBER<br>OF OBS. | %RELATIVE<br>FREQUENCY |
|-------|----------------|-------------------|------------------------|
| 3     | 20.00          | 1                 | 4.00                   |
| 4     | 22.00          | 1                 | 4.00                   |
| 5     | 24.00          | 3                 | 12.00                  |
| 6     | 26.00          | 10                | 40.00                  |
| 7     | 28.00          | 5                 | 20.00                  |
| 8     | 30.00          | 2                 | 8.00                   |
| 9     | 32.00          | 2                 | 8.00                   |
| 10    | 34.00          | 1                 | 4.00                   |

MOYENNE = 27.896

ECART-TYPE = 2.96514193027

COEFFICIENT DE VARIATION = 10.6292727641

# HISTOGRAMME DES CYLINDRES A 28 JOURS



CELL STATISTICS

CYLINDRES A 28 JOURS

| CELL# | LOWER<br>LIMIT | NUMBER<br>OF OBS. | %RELATIVE<br>FREQUENCY |
|-------|----------------|-------------------|------------------------|
| 5     | 24.00          | 1                 | 4.00                   |
| 6     | 26.00          | 1                 | 4.00                   |
| 7     | 28.00          | 3                 | 12.00                  |
| 8     | 30.00          | 6                 | 24.00                  |
| 9     | 32.00          | 5                 | 20.00                  |
| 10    | 34.00          | 5                 | 20.00                  |
| 11    | 36.00          | 4                 | 16.00                  |

MOYENNE = 32.596

ECART-TYPE = 3.19993229096

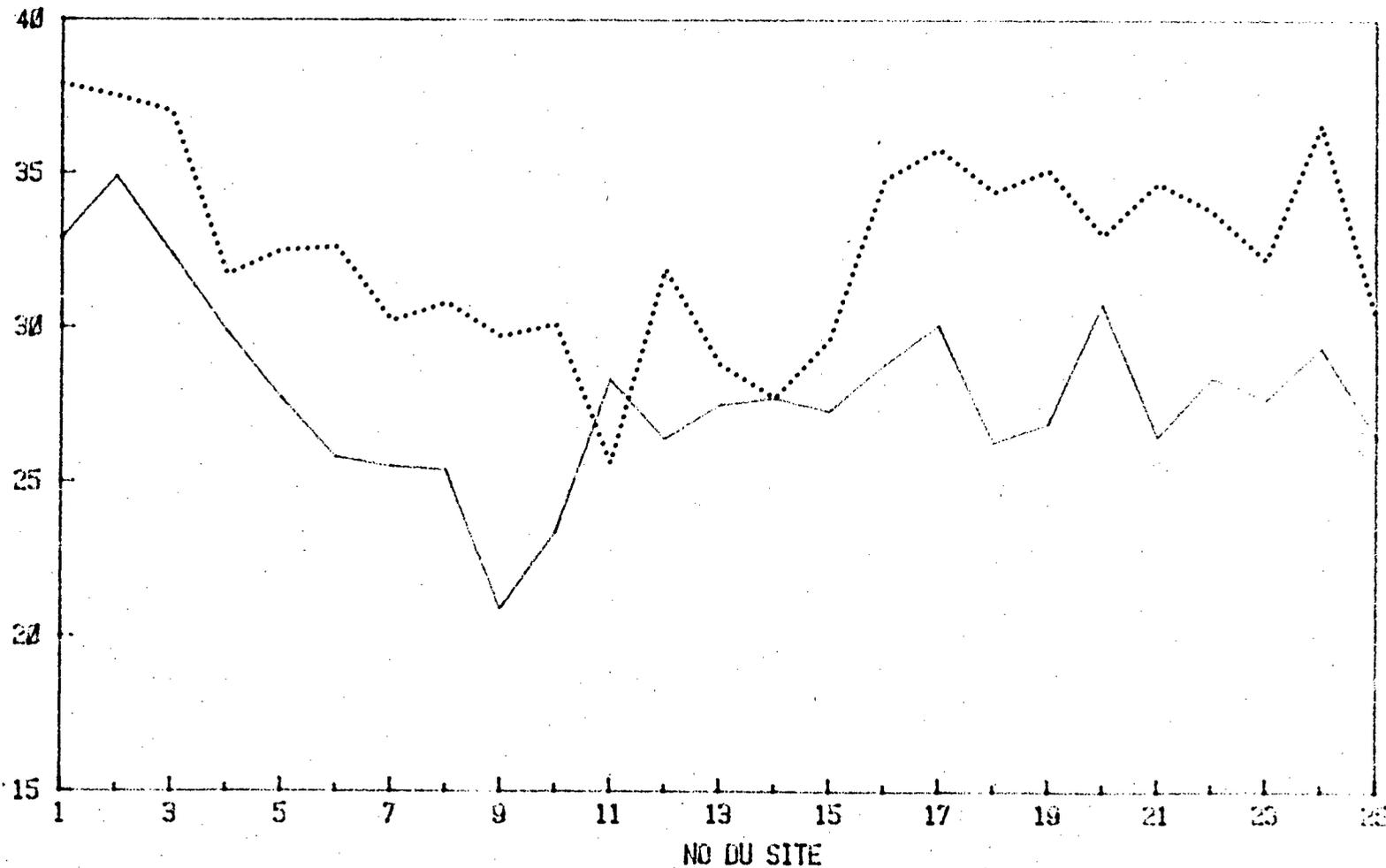
COEFFICIENT DE VARIATION = 9.81694775727

# RESISTANCE EN COMPRESSION DES CAROTTES & CYLINDRES A 28 JOURS

CAROTTES  
A 28 JOURS

CYLINDRES  
A 28 JOURS

RESISTANCE (MPa)

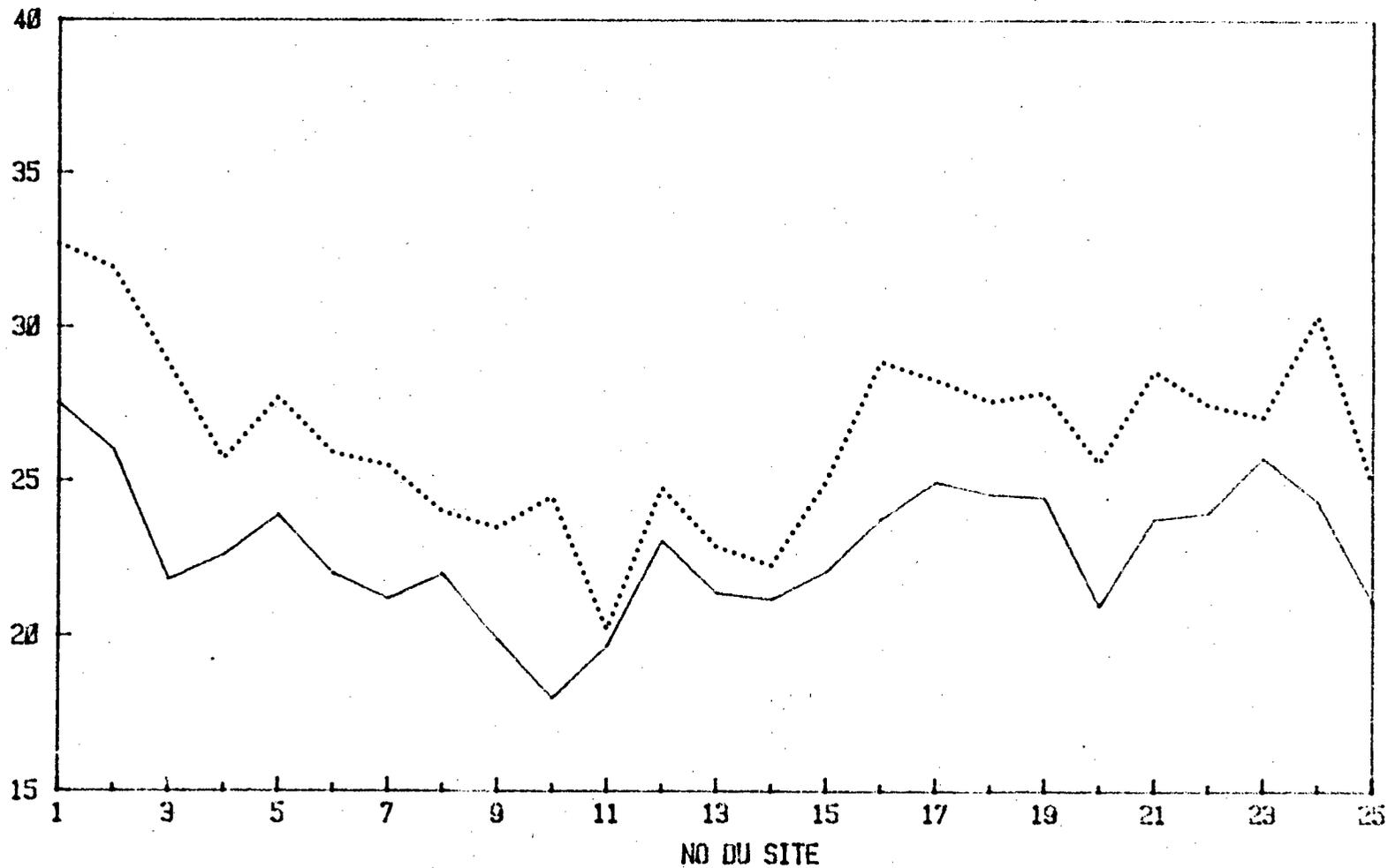


# RESISTANCE EN COMPRESSION DES CAROTTES & CYLINDRES A 7 JOURS

CAROTTES  
A 7 JOURS

CYLINDRES  
A 7 JOURS

RESISTANCE (MPa)



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 222 585