

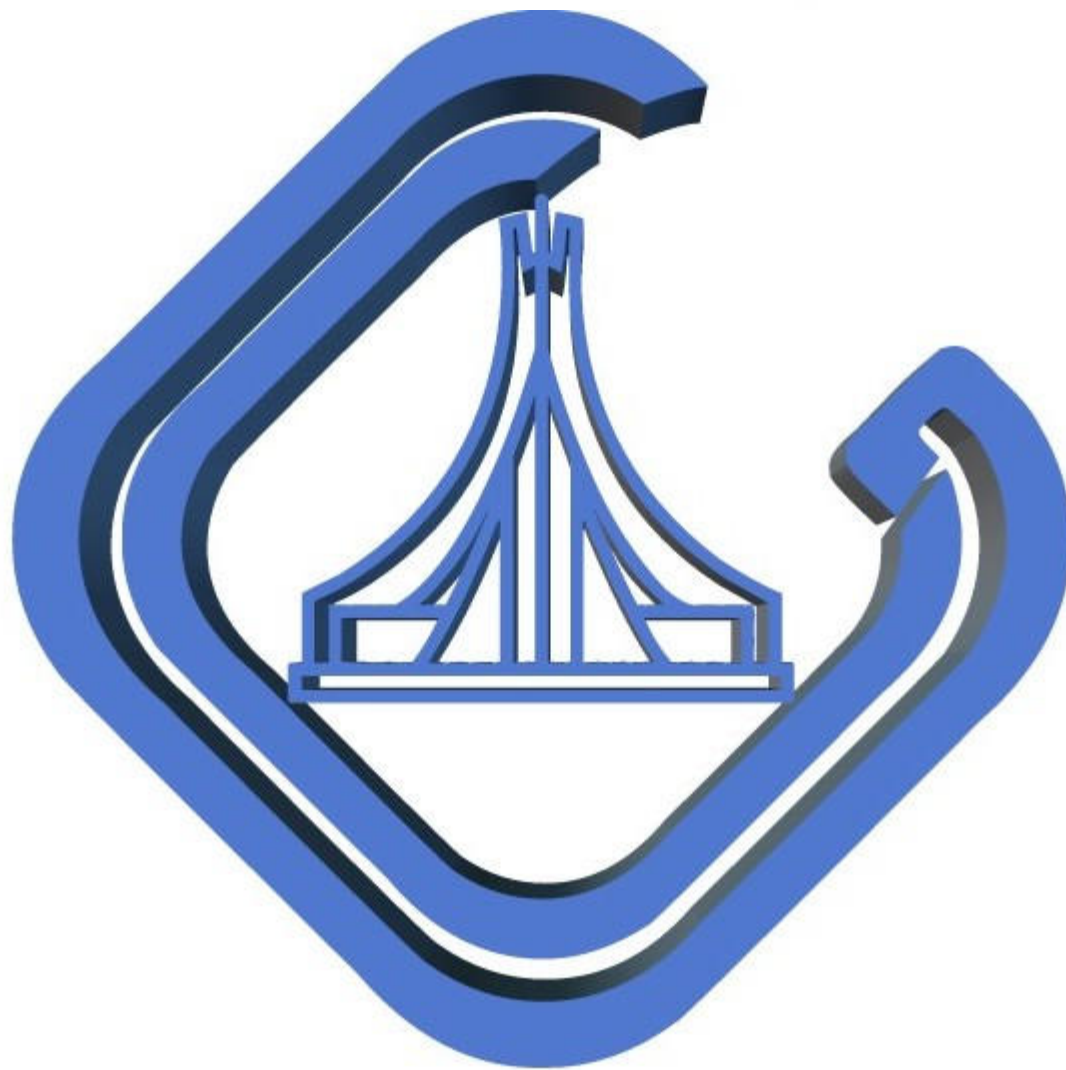
F. GORISSE

**essais
et contrôle**

des bétons

EDITIONS EYROLLES

ESSAIS ET CONTRÔLE DES BÉTONS



www.GCAAlgerie.com

ESSAIS ET CONTRÔLE DES BÉTONS

par

Francis GORISSE

Ingénieur au C.E.B.T.P.

PRÉFACE

de **Georges DREUX**

Ingénieur en Chef, attaché à la Direction du C.E.B.T.P.

ÉDITIONS EYROLLES

61, boulevard Saint-Germain – 75005 PARIS

1978

REMERCIEMENTS

Je souhaite que ce petit guide rende service aux Techniciens et aux Ingénieurs responsables du béton et de sa qualité. Je l'ai réalisé avec la volonté de faire partager un certain nombre de connaissances, plus pratiques que théoriques d'ailleurs.

Le souci de « transmettre » aux autres un certain acquis je le dois en grande partie à M. DREUX, un grand spécialiste du matériau béton.

Mes remerciements s'adressent donc en premier lieu à mon Maître en la matière.

Je remercie tous ceux qui m'aident efficacement dans mon travail, en particulier toute mon Équipe du Laboratoire-Béton de Saint-Remy-lès-Chevreuse, ainsi que ma femme qui accepte avec bonne grâce mon travail tardif le soir.

F. GORISSE

PRÉFACE

Je connais Francis GORISSE depuis 1960.

A cette époque, la construction du Centre d'Essais des Structures commençait à peine et j'avais été chargé, en tant que représentant du maître d'ouvrage, d'assurer sur ce chantier le contrôle des bétons et de leur mise en œuvre ; un petit laboratoire d'essais fut créé et GORISSE y fut affecté ; il s'est ainsi trouvé immédiatement devant les tas de sable et de gravier au pied de la bétonnière. Cette formation pratique, il la compléta ensuite par des études approfondies et acquit ainsi les connaissances techniques et scientifiques qui lui permirent de m'apporter une collaboration efficace pour le développement et la gestion du laboratoire des bétons au Centre d'Essais des Structures. J'ai, à cette occasion, apprécié ses qualités, autant humaines que professionnelles et je l'ai associé, à part entière, aux études de recherches et essais qui m'ont été confiés dès 1963 ; à ces occasions, nous avons conjointement présenté et publié un bon nombre de résultats et de conclusions.

Francis GORISSE est aujourd'hui Responsable du laboratoire des bétons du service Gros Œuvre et Chantiers au C.E.B.T.P. ; il peut donc être compté au nombre des « spécialistes du béton » et c'est en tant que tel, qu'il présente ce petit livre : Essais et contrôle des bétons qu'il m'a demandé de préfacier.

La littérature sur le béton est abondante mais cependant nous avons remarqué l'un et l'autre, un créneau qui méritait d'être comblé : un manuel de caractère pratique à l'usage des techniciens chargés spécialement du contrôle des bétons.

Un tel ouvrage n'est pas si simple à concevoir que cela peut le paraître ; en effet, il ne faut pas se contenter de répertorier et de décrire tout le matériel nécessaire aux différents essais de contrôle et les processus correspondants ; un « contrôleur » de béton digne de ce nom ne doit pas être un simple manipulateur de tests applicateur de règles ; il doit savoir aussi ce que c'est que du

béton, en reconnaître les qualités et les défauts être capable d'en prévoir les causes et les risques et en analyser les facteurs ; ce n'est qu'à cette condition qu'il peut remplir efficacement sa mission préventive qui est l'essentiel de son rôle de contrôleur, telle est, en tout cas, notre conviction. Mais attention ! Celui qui prend la plume risque alors d'écrire un « traité » sur le béton qui, par son volume et son scientisme, découragera vite le technicien soucieux d'acquérir les simples notions nécessaires.

Francis GORISSE a tenté d'écrire ce livre et il nous semble qu'il a atteint pleinement son objectif. C'est un MANUEL dans lequel sont exposées les notions essentielles de l'art du béton ; c'est un GUIDE car, avec ce livre en main, le contrôleur débutant sera guidé dans le labyrinthe des Normes, CPC, CPS, DTU, règlements divers, recommandations du CEB... c'est aussi un guide pour les prévisions concernant l'installation d'un laboratoire selon son importance ; il en est prévu cinq catégories au chapitre 7 ; c'est un RÉPERTOIRE car on y trouve, bien classés et répertoriés, tous les tests et essais qu'un contrôleur peut avoir à réaliser selon les cas les plus divers ; on y trouve également les correspondances avec certains tests et règles pratiqués à l'étranger ; c'est enfin un MÉMENTO car il est écrit dans un style concis qui résume l'essentiel concernant chaque essai, chaque norme, chaque appareil...

En le parcourant, j'ai eu l'occasion de me rafraîchir la mémoire dans bien des cas et même, pourquoi ne pas le dire, d'y apprendre parfois quelque chose ; j'ai plaisir à en féliciter amicalement l'auteur.

G. DREUX
Ingénieur en chef
Attaché à la Direction du C. E. B. T. P.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	VII
UNITÉS EMPLOYÉES	XV
CHAPITRE PREMIER. — GÉNÉRALITÉS	1
1. <i>LE CONTROLE BIEN COMPRIS</i>	1
1.1. Nécessité d'un contrôle accepté par tous	2
1.2. Le contrôle en amont	2
2. <i>UN BON BÉTON POUR TOUS LES OUVRAGES</i>	3
3. <i>NOTRE OBJECTIF</i>	4
4. <i>CONFORMITÉ AUX NORMES, RÉGLEMENTS, ETC.</i>	4
5. <i>UN CONTROLE MINIMUM EST INDISPENSABLE.</i>	5
CHAPITRE 2. — CRITÈRES D'ACCEPTATION DU BÉTON	6
1. <i>PARTICULARITÉS LIÉES AU CONTROLE STATISTIQUE DU BÉTON</i>	7
2. <i>GENRES DE DISPERSION, VALEUR DE L'ÉCART-TYPE</i>	8
3. <i>QUELQUES DÉFINITIONS</i>	9
3.1. Types de contrôle	9
3.2. Plan de contrôle	10
3.3. Écart-type	10
3.4. Fractile	10
4. <i>BASES POUR L'ÉTABLISSEMENT DE LA CONFORMITÉ</i>	11
4.1. Lotissement	12
4.2. Échantillonnage	12
5. <i>LES DIFFÉRENTES RÈGLES D'ACCEPTATION</i>	13
5.1. Résistance nominale (CCBA 68)	13
5.2. Résistance caractéristique (Règlement Béton Précontraint, août 73).	13
5.3. Résistance requise pour la fourniture de Béton Prêt à l'Emploi (B.P.E. - NF P 18 305)	14
5.3.1. Projet de Norme P 18 305	
5.4. Proposition pour une règle de conformité	15
5.4.1. Exemples d'application	

CHAPITRE 3. — LES DIFFÉRENTS TYPES D'ESSAIS	18
1. <i>ESSAIS DE RECHERCHE</i> (NF P 18 403)	19
2. <i>ESSAIS D'ÉTUDE, DE CONVENANCE ET DE CONTROLE</i> (NF P 18 404)	19
2.1. Définitions	19
2.2. Processus d'exécution	20
3. <i>ESSAIS D'INFORMATION</i> (NF P 18 405)	22
3.1. Définition	22
3.2. Processus d'exécution	22
3.3. Autres moyens d'investigation	23
4. <i>RELATION ENTRE ESSAIS DE CONTROLE ET ESSAIS D'INFORMATION</i>	23
CHAPITRE 4. — CONTROLE DE QUALITÉ DES CONSTITUANTS DU BÉTON	25
1. <i>CIMENT</i>	25
1.1. Choix du ciment	25
1.2. Contrôle et essais	26
1.2.1. Essais de résistance mécanique — 1.2.2. Temps de prise — 1.2.3. Essais chimiques — 1.2.4. Retrait et gonflement — 1.2.5. Cha- leur d'hydratation.	
2. <i>GRANULATS</i>	32
2.1. Choix des granulats	33
2.2. Contrôle et essais des granulats à béton	33
2.2.1. Nature minéralogique et dureté — 2.2.2. Masse volumique — 2.2.3. Propreté des granulats — 2.2.4. Forme des granulats — Granulométrie — 2.2.6. Classes granulaires — 2.2.7. Altérabilité. Réaction alcalis-granulats.	
2.3. Cas particuliers des granulats légers	42
2.3.1. Adhérence	
2.4. Futur Fascicule 23. Spécifications	44
3. <i>L'EAU DE GACHAGE</i>	45
3.1. Gâchage à l'eau de mer	46
4. <i>LES ADJUVANTS</i>	46
4.1. Agrément des adjuvants	47
4.2. Les fluidifiants	47
CHAPITRE 5. — CONTROLE ET ESSAIS DU BÉTON FRAIS	48
1. <i>VÉRIFICATION RAPIDE DE LA COMPOSITION</i>	48
1.1. Dosage volumétrique	48
1.2. Dosage pondéral	53
2. <i>MALAXAGE</i>	53
3. <i>VÉRIFICATION DE LA CONSISTANCE ET DE LA MANIABILITÉ.</i>	54
3.1. Mesure de la consistance et de la maniabilité	56
3.1.1. Affaissement au cône d'Abrams ou slump-test — 3.1.2. Ma-	

niabilité au maniabilimètre au L.C.P.C. — 3.1.3. Divers appareils	
3.2. Contrôle intégré de la consistance	62
3.2.1. L'ampèremètre — 3.2.2. Le wattmètre enregistreur —	
3.2.3. Le servo-ouvrabilimètre du C.E.B.T.P. — 3.2.4. Sondes à	
résistivité — 3.2.5. Automatisation sur l'incorporation de l'eau	
4. <i>ANALYSES DE BÉTON FRAIS</i>	63
5. <i>POURCENTAGE D'AIR OCCLUS</i>	64
5.1. Mesure de l'air occlus	64
6. <i>TRANSPORT ET MISE EN ŒUVRE DANS LES COFFRAGES</i> .	64
6.1. Transport	65
6.2. Conseils pratiques pour la mise en place dans les coffrages élancés .	66
7. <i>MESURE DE L'ÉTAT DE SÉGRÉGATION</i>	68
8. <i>VÉRIFICATION DES ARMATURES</i>	70
CHAPITRE 6. — CONTROLE ET ESSAIS CONCERNANT LE BÉTON	
DURCI	72
1. <i>LES PRINCIPALES QUALITÉS RECHERCHÉES POUR LE BÉ-</i>	
<i>TON DURCI</i>	72
2. <i>RÉSISTANCE A LA COMPRESSION PAR RUPTURE D'ÉPROU-</i>	
<i>VETTES. DURCISSEMENT</i>	73
2.1. Les éprouvettes	75
2.1.1. Contrôle des gros bétons	
2.2. Nature des moules employés	79
2.2.1. Moules en carton — 2.2.2. Moules en acier — 2.2.3. Moules	
en matière plastique	
2.3. Fabrication des éprouvettes	80
2.3.1. Micro-table vibrante — 2.3.2. Arasement des éprouvettes	
2.4. Conservation	85
2.4.1. Démoulage et transport	
2.5. Rectification et surfacage	86
2.6. Machines d'essai	87
2.6.1. Les bâtis — 2.6.2. Les plateaux — 2.6.3. La mesure de force	
2.7. Essai d'écrasement	91
2.7.1. Évolution des dispositifs de mise en charge — 2.7.2. Aspect	
des éprouvettes après rupture — 2.7.3. Éprouvettes de différentes	
dimensions et formes.	
3. <i>RÉSISTANCE A LA TRACTION</i>	96
3.1. Essai en traction directe	97
3.2. Essai de traction par flexion	97
3.3. Essai de traction par fendage	99
3.4. Choix d'un essai	99
3.5. Relation compression-traction	100
3.6. Machines d'essai pour la traction	100
4. <i>ESSAIS ET MESURES DE POROSITÉ, PERMÉABILITÉ, CA-</i>	
<i>PILLARITÉ</i>	100

4.1. Mesure de la porosité totale	101
4.2. Mesure de la porosité ouverte	102
4.2.1. Mesure de l'absorption capillaire	
4.3. Mesure de la perméabilité	103
5. <i>RETRAIT-GONFLEMENT</i>	106
5.1. Mesure	107
6. <i>GÉLIVITÉ</i>	108
6.1. Mesure de la gélivité	108
7. <i>DÉTERMINATION DU DOSAGE EN CIMENT</i>	110
7.1. Précision des mesures	110
8. <i>MODULE D'ÉLASTICITÉ</i>	110
8.1. Influence de la dimension D des plus gros granulats	111
8.2. Détermination du module élastique par une méthode utilisée au C.E.B.T.P.	112
8.3. Coefficient de Poisson	116
9. <i>ESSAIS DIVERS. FLUAGE</i>	117
9.1. Essais sur structure ou modèle de structure	119
10. <i>CAROTTAGE DU BÉTON</i>	120
10.1. Relation entre éprouvettes moulées et carottées	121
11. <i>ESSAIS NON DESTRUCTIFS</i>	122
11.1. Auscultation au scléromètre	122
11.1.1. Précautions à prendre — 11.1.2. Types d'appareils	
11.2. Auscultation dynamique par vitesse du son	124
11.2.1. Mesures — 11.2.2. Relation vitesse du son — résistance — 11.2.3. Exploitation des résultats	
11.3. Auscultation des pieux et des parois moulées en béton	130
11.4. Appareils divers pour les essais non destructifs	133
11.5. Repérage des armatures. Le pachomètre	134
12. <i>CONTROLE DE QUALITÉ DU BÉTON PROJETÉ</i>	135
12.1. Résistance mécanique	135
12.2. Adhérence	137
12.3. Contrôle de continuité	137
13. <i>ESSAIS ACCÉLÉRÉS</i>	139
13.1. Principe de la méthode proposée	139
13.2. Étalonnage	139
13.3. Mode opératoire (présentation simplifiée)	141
14. <i>CONTROLE DES BÉTONS SPÉCIAUX ET DES PRODUITS MANUFACTURÉS</i>	144
14.1. Contrôle de qualité du béton cellulaire	144
14.2. Contrôle des produits en béton manufacturés	144
14.2.1. Blocs de béton manufacturés.	
 CHAPITRE 7. — LE PERSONNEL ET L'ÉQUIPEMENT DU LABORATOIRE	 151
1. <i>LE PERSONNEL</i>	151
1.1. Laboratoire fixe	152
1.2. Laboratoires de chantier	152

2. <i>L'ÉQUIPEMENT</i>	152
2.1. Liste de matériel à acquérir suivant la catégorie de laboratoires ..	153
2.1.1. Équipement général — 2.1.2. Granulats — 2.1.3. Ciment —	
2.1.4. Béton frais — 2.1.5. Béton durci	
CHAPITRE 8. — LE BÉTON PRÊT A L'EMPLOI PRÉPARÉ EN USINE (B.P.E.)	157
1. <i>LA COMMANDE</i>	157
2. <i>CENTRALES DE MALAXAGE ET CENTRALES DE DOSAGE</i> ..	158 ✓
3. <i>CONSISTANCE A L'ARRIVÉE AU CHANTIER</i>	159
4. <i>ESSAIS DE CONTROLE OU ESSAIS D'INFORMATION</i>	159
5. <i>RENDEMENT. DENSITÉ</i>	160
6. <i>HOMOLOGATION A LA MARQUE N.F.</i>	161
6.1. Autres agréments	161
7. <i>REVISION DE LA NORME</i>	163
CHAPITRE 9. — CONTROLE DES BÉTONS AU MOYEN-ORIENT. BÉ- TONNAGE PAR TEMPS CHAUD	164
1. <i>LE CLIMAT</i>	166
2. <i>ESSAIS D'INFORMATION ET ESSAIS DE CONTROLE</i>	166
3. <i>CONSISTANCE DU BÉTON FRAIS</i>	168
4. <i>LES CONSTITUANTS</i>	169
4.1. Le ciment	169
4.2. Les granulats	169
4.2.1. La propreté des granulats — 4.2.2. La finesse des sables	
4.3. Les adjuvants	170
4.4. L'eau	171
5. <i>L'ÉTUVAGE</i>	172
6. <i>PRINCIPALES PRÉCAUTIONS POUR LE BÉTONNAGE PAR</i> <i>TEMPS CHAUD</i>	173
6.1. Temps de prise	173
6.2. Durcissement initial	175
6.3. Retrait du béton frais	176
6.4. Précautions à prendre	176
6.4.1. Concernant les constituants — 6.4.2. Concernant la mise	
en œuvre — 6.4.3. Cure du béton	
7. <i>LE PERSONNEL DU LABORATOIRE BÉTON</i>	178
8. <i>RENSEIGNEMENTS DIVERS</i>	179
ANNEXE A. — RÉGLEMENTATION TECHNIQUE	181
1. Quelques sigles	181
2. D.T.U.	181
2.1. Cahier des charges D.T.U. et documents connexes	182
2.2. Prescriptions ayant valeur de cahier des charges D.T.U.	182

2.3. Règles de calcul D.T.U.	183
3. Exécution des ouvrages d'art	183
3.1. Documents généraux	183
3.2. C.P.C.	184
3.3. Circulaires ministérielles	184
3.4. Circulaires d'agrément	185
4. Règles publiées par l'Union Nationale de la Maçonnerie	185
ANNEXE B. — LES PRINCIPALES NORMES D'ESSAIS FRANÇAISES.	
Correspondance entre normes françaises et normes étrangères	187
1. Ciment	187
2. Granulats	188
3. Béton	189
4. Correspondance entre normes françaises et étrangères	190
ANNEXE C. — ORGANISMES ET CENTRES D'ESSAIS	194
1. Organismes internationaux	194
2. Organismes nationaux	195
3. Centres d'essais	196
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	199



www.GCAAlgerie.com

UNITÉS EMPLOYÉES

Pour le béton, on avait l'habitude d'utiliser :

- le kilogramme ou la tonne pour les forces,
- le kgf/cm^2 pour les contraintes.

Le Système International d'unités (S.I.) prévoit maintenant l'utilisation :

- du Newton (N) comme unité de force,
- du Pascal (Pa) comme unité de pression ou de contrainte conformément au Fascicule de documentation NF X 02.004.

Forces :

Pour les forces, on utilise le plus souvent le kilonewton (KN) qui correspond, à 2 % près, à 100 kgf ou 0,1 tonne :

$$1 \text{ KN} = 0,102 \text{ tonne}$$

Contraintes :

Pour les contraintes, on utilise maintenant, de plus en plus, un multiple du Pascal, le mégapascal (MPa) qui correspond à 10 bars :

$$1 \text{ bar} = 1,02 \text{ kgf/cm}^2 = 1 \text{ daN/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bars}$$

Pour des raisons de facilité de repérage pour le lecteur, nous avons parfois utilisé des unités et des notations différentes. C'est ainsi que volontairement, nous avons gardé les unités et les notations exprimées dans certaines règles ou normes.

D'une façon générale, dans cet ouvrage, les contraintes sont le plus souvent exprimées en MPa (unité légale) avec la correspondance en bars entre parenthèses.

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

1. LE CONTRÔLE BIEN COMPRIS

Habituellement, le mot contrôle marque essentiellement l'action à postériori. Il y a lieu dans ce cas, de considérer le mot selon sa signification purement contractuelle, c'est-à-dire dans le sens du respect d'un contrat.

Ce genre de contrôle demeure, bien entendu, nécessaire pour imposer ou pour s'imposer une certaine rigueur ; la peur du gendarme procure encore un assez bon seuil de garantie quant à la qualité.

Malgré la richesse du vocabulaire français, il semble qu'un mot nous fasse défaut et pas seulement dans notre profession d'ailleurs ; il devrait définir l'action de rechercher constamment un niveau de qualité plus élevé ou tout au moins satisfaisant.

En poursuivant le raisonnement, on est conduit assez rapidement à une notion d'auto-contrôle dans l'Entreprise et plus généralement à une volonté de chacun de faire le maximum pour l'obtention d'une qualité plus grande dans la construction en béton, notamment en ce qui concerne le bâtiment.

Les difficultés que cela représente à une époque où les délais d'exécution sont de plus en plus « serrés » sur nos chantiers sont connues, mais pouvons-nous sacrifier la qualité d'exécution au profit des délais ?

C'est une très bonne chose et c'est dans le sens du progrès que de pouvoir construire plus vite, L'accélération du durcissement du béton par la chaleur en est une illustration à condition d'être assuré d'un niveau acceptable de qualité.

Réaliser un cycle de fabrication de planchers en béton armé sur chantier dans lequel le bétonnage a lieu le soir et le décoffrage le lendemain

matin, grâce à des résistances électriques noyées, c'est très bien. Mais imposer coûte que coûte ce délai, même en hiver sans aucun contrôle du béton et du fonctionnement des résistances chauffantes est très dangereux et ne va pas dans le sens du progrès.

Nous ne prétendons pas apporter de réponse toute simple et toute faite. Nous désirons apporter notre concours pour faire connaître les modalités, les documents et les processus de contrôle courant en matière de béton.

Les documents officiels ou non sont souvent nombreux et volumineux. Le souci de précision et de ne rien oublier en constitue la première raison. Vouloir tout mettre dans les textes conduirait à des documents qui ne seraient compulsés que superficiellement par les personnes chargées de les appliquer ou de les faire appliquer.

Ne vaudrait-il pas mieux se contenter de prescriptions élémentaires plus strictes et de les respecter?

1.1. Nécessité d'un contrôle accepté par tous

Le contrôle des opérations de construction sur un chantier est une nécessité. Il procure des avantages pour le Maître de l'Ouvrage et le Maître d'Œuvre par la connaissance des matériaux employés, par la régularité de fabrication et de mise en œuvre, par des coefficients de sécurité plus réels que théoriques.

Le principe de l'auto-contrôle est de plus en plus admis. Cependant, deux obstacles subsistent :

— le premier est plutôt d'ordre psychologique : la notion même de contrôle, fut-ce l'auto-contrôle, constitue une certaine gêne ;

— le second concerne le coût des opérations de contrôle qui n'est même parfois qu'un prétexte. Signalons pourtant que le prix du contrôle devrait être comparé au coût des conséquences de son absence.

D'une façon générale, il ne faut pas que les différentes opérations de contrôles servent à amasser des résultats en vue d'un litige ou d'un contentieux possible, mais bien plutôt qu'elles interviennent efficacement dans le déroulement de la construction pour assurer les meilleures conditions techniques et économiques.

1.2. Le contrôle en amont

En ce qui concerne le béton, il faut absolument faire un effort pour tout ce qui concerne la fabrication elle-même. Jusqu'à nos jours, on s'est surtout préoccupé de constater à posteriori des états de fait quant à la qualité. C'est bien entendu nécessaire pour être en possession de résultats statis-

tiques nombreux ainsi que pour s'assurer que les caractéristiques escomptées sont réellement atteintes.

Mais ce n'est pas suffisant. Le contrôle permanent au niveau de la fabrication et de la mise en œuvre est indispensable.

En réalité, il s'agit de faire prendre conscience que la qualité du béton se joue en grande partie à la fabrication et à la mise en œuvre.

Hormis les conditions de conservation, les qualités fondamentales sont marquées dans les premières heures de la vie du béton. La nature et la qualité des constituants, la composition, le mélange, la maniabilité, le transport, le remplissage, la vibration, la cure dans les premiers jours... constituent en effet les paramètres les plus influents.

2. UN BON BÉTON POUR TOUS LES OUVRAGES

Il nous semble que certaines difficultés existent. D'un côté, on trouve tout ce qui concerne les ouvrages dépendant du Ministère de l'Équipement avec son cortège de règles et de contrôles stricts qui donnent des résultats positifs quant à la qualité en général.

De l'autre côté, tout ce qui concerne le plus souvent le bâtiment courant où, à juste titre, on essaie de diminuer les frais au maximum et, pourquoi pas, les frais de contrôle (ou d'auto-contrôle).

Entre ces deux tendances, il pourrait y avoir une plus grande détermination de rapprochement pour le bien de tous. Mais la plupart du temps, il apparaît au contraire des divergences croissantes.

Dans le premier cas, « on » tend à accentuer les contrôles pour éviter les abus et diminuer ainsi le risque. Dans le second cas, on est parfois rebuté à la vue du caractère astreignant des contrôles, aussi bien sur le plan économique que sur le plan de la réalisation elle-même.

Alors, le fossé va-t-il se creuser? Je ne le pense pas. Des efforts sont faits de part et d'autre. Les Responsables des Laboratoires œuvrent également dans ce sens. Et puis la Formation Professionnelle Continue a déjà apporté et apportera encore beaucoup à la motivation des Responsables à *tous les niveaux*.

Il est cependant un peu regrettable que les Stages Professionnels ne comptent pas plus dans leurs rangs de personnes directement concernées par ces questions dans l'Entreprise : c'est-à-dire aussi bien le Chef de Chantier que l'Ingénieur, aussi bien le Bétonneur que le Conducteur de Travaux.

3. NOTRE OBJECTIF

Les Normes A.F.N.O.R., les C.C.T.G. (Cahiers des Clauses Techniques Générales), les C.C.S. (Cahiers des Clauses Spéciales), les D.T.U. (Documents Techniques Unifiés), les Règlements de Béton armé et de béton précontraint... constituent déjà un ensemble de documents assez conséquent.

Notre propos est donc d'essayer de guider et surtout de familiariser les personnes chargées de ces questions avec les différentes règles, par la connaissance du matériau béton [1] et de son comportement, par la connaissance également des principaux moyens de caractériser les qualités essentielles du béton.

On ne trouvera pas dans ce petit guide tout ce qui concerne le contrôle et les essais de béton sinon notre but de « guider » ne serait pas atteint.

4. CONFORMITÉ AUX NORMES, RÉGLEMENTS, ETC.

Selon les Maîtres d'Ouvrage, l'ouvrage lui-même et sa destination, les règles à observer sont différentes.

C'est ainsi que pour les Ouvrages d'Art de Travaux Publics pour lesquels l'État est Maître d'Ouvrage, l'observance des C.C.T.G. et des D.T.U. est obligatoire, alors que pour des bâtiments courants pour lesquels le Maître d'Ouvrage est, par exemple, un promoteur, les règles Techniques de conception et de Calcul des ouvrages et constructions en Béton Armé (C.C.B.A 68) sont suffisantes dans bien des cas (voir annexe A).

De toute manière, au niveau du contrôle du béton proprement dit les essais sont toujours à peu près les mêmes : dosage en ciment et en eau, compression, traction... au nombre et à la fréquence des prélèvements près. Cependant, les types d'essais de contrôle varient avec l'importance de l'ouvrage et sa destination. C'est ainsi que pour la mise en précontrainte d'une partie d'ouvrage, des éprouvettes pour la compression, conservées à proximité immédiate de l'ouvrage sont essayées au moment prévu de la mise en tension pour s'assurer que la résistance prévue est bien atteinte (essai d'information); alors que pour un béton de route, on s'assurera surtout de la valeur de la résistance à la flexion à 28 jours.

5. UN CONTRÔLE MINIMUM EST INDISPENSABLE

Le béton a été un matériau très employé dans la gigantesque opération de reconstruction de type « concentrée » qui a suivi les guerres dévastatrices. Aussi lui attribue-t-on facilement aujourd'hui tous les désordres de notre société.

Il est un peu simpliste, pour ne pas dire naïf, de dire que la pierre est plus belle que le béton. Qui ne souhaite depuis toujours de réaliser l'habitation de ses rêves en pierre? Le débat se pose-t-il en termes de choix entre le béton et d'autres matériaux? A t-on les moyens financiers de choisir?

Pourrait-on aujourd'hui, réaliser tous les ouvrages, y compris les logements, en excluant le béton?

On pourrait déjà se poser la question de savoir si le béton est un matériau laid [2]. Nous ne le pensons pas, à condition...

A condition de le considérer comme un matériau de construction à part entière, de lui consacrer un minimum d'attention et de soins au niveau de l'architecture comme de la réalisation, le béton est un matériau qui doit retenir et qui retient d'ailleurs toute l'attention des constructeurs, étant donné par ailleurs son prix de revient très compétitif. Il offre également des possibilités techniques très larges.

Mais il ne donnera entière satisfaction que dans la mesure où il sera un matériau sûr à tous points de vue.

Le contrôle fait partie des moyens indispensables à mettre en œuvre pour obtenir des résultats satisfaisants et en premier lieu pour l'esthétique.

CHAPITRE 2

CRITÈRES D'ACCEPTATION DU BÉTON

Comme nous le verrons dans le chapitre 6 où sont traités les essais sur béton durci, il y a bon nombre de qualités recherchées autres que la résistance à la compression.

Si les essais étaient toujours significatifs et peu dispersifs, il serait possible, par exemple, de se contenter d'une mesure de dureté superficielle pour accepter ou refuser le béton d'une partie d'ouvrage. De la même façon, une surveillance stricte de la qualité des constituants et de la fabrication du béton pourraient suffire (aux aléas de conservation près) pour l'acceptabilité dans bien des cas.

Mais le fait que les calculs et les études préliminaires nécessitent le plus souvent la prise en compte d'une sollicitation mécanique donnée (décoffrage rapide, précontrainte, résistance finale), l'acceptabilité est basée elle aussi sur la résistance.

Nous verrons également que l'essai à rupture en compression demeure, dans l'état actuel de la technologie, un des essais les plus significatifs quand il est réalisé dans de bonnes conditions. Nous baserons donc l'acceptabilité sur la résistance à l'écrasement d'éprouvettes.

Dans les propos qui suivent, nous emprunterons des considérations et des définitions élaborées au sein d'une Commission et d'un Groupe de Travail Français chargés de préparer des propositions de normes.

Une des normes concernerait l'aspect statistique du contrôle de conformité aux spécifications des matériaux de construction ; une autre traiterait particulièrement de la conformité du béton basée sur sa résistance caractéristique spécifiée.

Dans un article intitulé « Contrôle de Conformité aux spécifications des Matériaux de Construction » [3], l'auteur, qui est membre de la Commission citée, définit bien les bases nécessaires pour le contrôle statistique appliqué aux matériaux de construction et au béton en particulier. Plusieurs définitions sont elles-mêmes extraites du Fascicule de Documentation NF X 06 021 « Contrôle statistique de réception » (juin 67).

1. PARTICULARITÉS LIÉES AU CONTRÔLE DU BÉTON

a) Le béton est un matériau composé de plusieurs constituants élémentaires, sujets eux-mêmes à variations dans leurs différentes qualités.

b) Un ouvrage en béton est composé de plusieurs parties qu'il y a lieu de considérer séparément quant au contrôle de la qualité. En effet, une poutre principale dans un bâtiment d'habitation, un voussoir de pont, peuvent compromettre à eux seuls la « tenue » de l'ouvrage dans son ensemble. Il y a lieu de bien définir l'unité d'acceptation qui peut être constituée elle-même de lots.

c) Dans le cas du béton prêt à l'emploi préparé en usine, un intervenant supplémentaire est associé à la réalisation d'un ouvrage. Il est nécessaire ici de prendre en considération le risque du fournisseur et celui du client. Il en découle la prise en compte de courbes d'efficacité.

d) Pour des raisons diverses (économiques entre autres) on ne dispose, dans la plupart des cas, que d'un nombre restreint de résultats.

Afin de pouvoir s'assurer d'un certain niveau de qualité, on est donc conduit à établir les critères d'acceptation à partir d'un nombre raisonnable d'essais qu'il est possible de réaliser.

Dans certains cas, un seul essai (un seul prélèvement de trois éprouvettes par exemple) est exécuté pour le contrôle d'une partie d'ouvrage peu importante en volume. C'est le cas assez fréquemment rencontré pour le Béton Prêt à l'Emploi, où un camion de quelques mètres cubes de béton suffit pour le bétonnage de la partie d'ouvrage. Il s'agit alors de trouver une règle simple mais donnant suffisamment de garantie pour la qualité du béton.

2. GENRES DE DISPERSION. VALEUR DE L'ÉCART-TYPE

Pour l'établissement d'un projet, il est souvent nécessaire de connaître à priori les valeurs probables de la dispersion. Nous avons mis en évidence [4] la nécessité de distinguer plusieurs genres de dispersion :

Dispersion du genre I : C'est celle qui est inhérente au processus opératoire à l'exclusion des qualités du béton. Elle se manifeste entre les éprouvettes d'un même prélèvement qui sont fabriquées et essayées en même temps. Cette dispersion peut et doit être réduite au maximum afin de permettre une appréciation valable des qualités intrinsèques du béton. Nous verrons par la suite, tout ce qu'il y a lieu de faire pour diminuer cette dispersion au maximum. En tout état de cause, c'est cependant le personnel chargé des essais, qui peut, en premier lieu, faire baisser cette valeur.

L'écart-type caractérisant cette dispersion peut varier de 0,5 à 3,5 MPa (5 à 35 bars) suivant la qualité des moyens mis en œuvre.

Dispersion du genre II : elle caractérise l'homogénéité d'une charge. Elle se manifeste entre les prélèvements effectués pendant le vidage d'un mélangeur ou d'un camion. Elle est faible en général, donc souvent peu supérieure à la dispersion opératoire qui y est d'ailleurs intégrée.

Dispersion du genre III : c'est la dispersion par opération de bétonnage le plus souvent une opération journalière ou un bétonnage en continu. Elle intègre les variations entre les gâchées dues à diverses causes comme l'humidité des granulats, le pesage des constituants, les ajouts d'eau plus ou moins intempestifs, la température, etc.

Elle est très importante à connaître puisqu'il s'agit dans bien des cas de la réalisation d'une partie d'ouvrage (un lot) et elle conditionne la sécurité de l'ouvrage comme nous l'avons vu.

L'écart type peut varier de 2 à 8 MPa (20 à 80 bars).

Dispersion du genre IV : Il s'agit de la dispersion globale constatée sur l'ensemble des résultats obtenus pour toute la durée d'un chantier, pour une même classe de béton.

La dispersion est souvent au moins égale ou supérieure à celle du genre précédent.

L'abaque de la figure 1 permet une évaluation à priori des valeurs de l'écart type.

• progrès
• essais

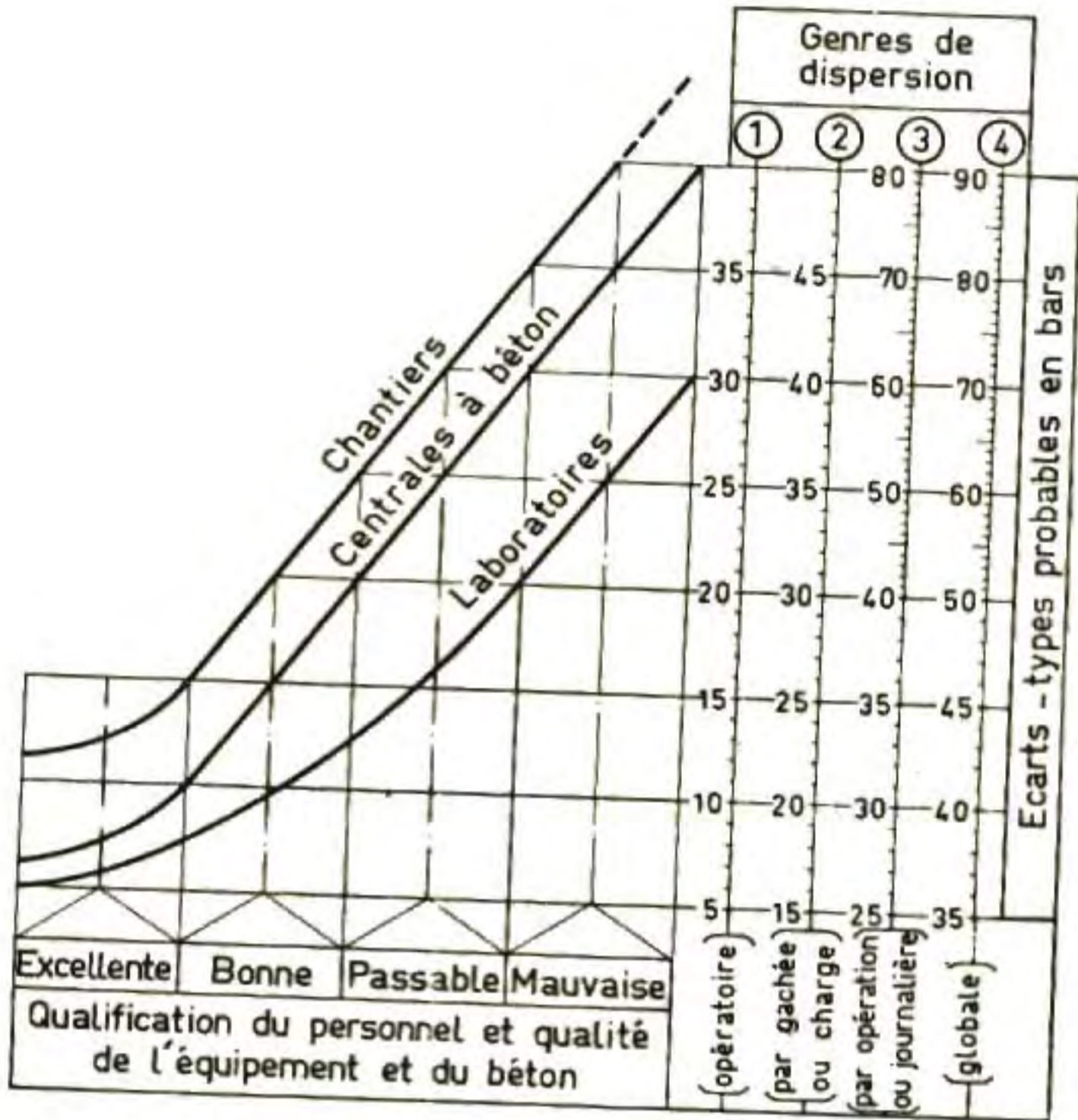


FIG. 1. — Abaque permettant l'évaluation de l'écart-type en bars suivant les genres de dispersion. Les échelles verticales par genre de dispersion doivent être considérées comme indépendantes les unes des autres.

3. QUELQUES DÉFINITIONS

3.1. Types de contrôle

Le choix porte généralement sur deux types de contrôles :

a) *Contrôle par attributs* : sur le vu des résultats de mesures ou d'une simple inspection qualitative, les individus sont qualifiés « bons » ou « défectueux ». La décision applicable au lot résulte du nombre de défectueux trouvés parmi les individus contrôlés.

b) *Contrôle par mesures* : La moyenne arithmétique et un paramètre de dispersion, calculés pour l'ensemble des résultats obtenus sur les indi-

vidus contrôlés, constituent la base de la décision d'acceptation ou de rejet du lot.

Ce type de contrôle est celui qui est retenu le plus souvent et nécessite certains calculs, en particulier celui de l'écart-type.

3.2. Plan de contrôle

Il devrait être défini dans chaque cas et comporter :

- la définition précise de l'unité d'acceptation et des individus qui la composent,
- le type de contrôle (attributs ou mesures),
- l'effectif de l'échantillon à prélever et à contrôler,
- le mode de prélèvement,
- la relation entre le résultat et la décision à prendre

3.3. Écart-type σ

Il caractérise la dispersion d'une population de résultats de contrôle par exemple. Pour un nombre n de valeurs individuelles f_i et de moyenne arithmétique f_m , l'écart type s'exprime ainsi :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |f_i - f_m|^2}{n - 1}}$$

Pour la facilité des calculs sur machine, on utilise fréquemment la formule équivalente suivante :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n f_i \right)^2}{n - 1}}$$

Le coefficient de variation est $V = 100 \times \frac{\sigma}{f_m}$.

3.4. Fractile

Il caractérise la limite (inférieure ou supérieure) au-dessous (ou au-dessus) de laquelle est tolérée une certaine quantité de valeurs relevées. Pour la résistance du béton, seul le fractile inférieur est pris en considération. Suivant les règles, il varie de 5 à 20 % (fig. 2).

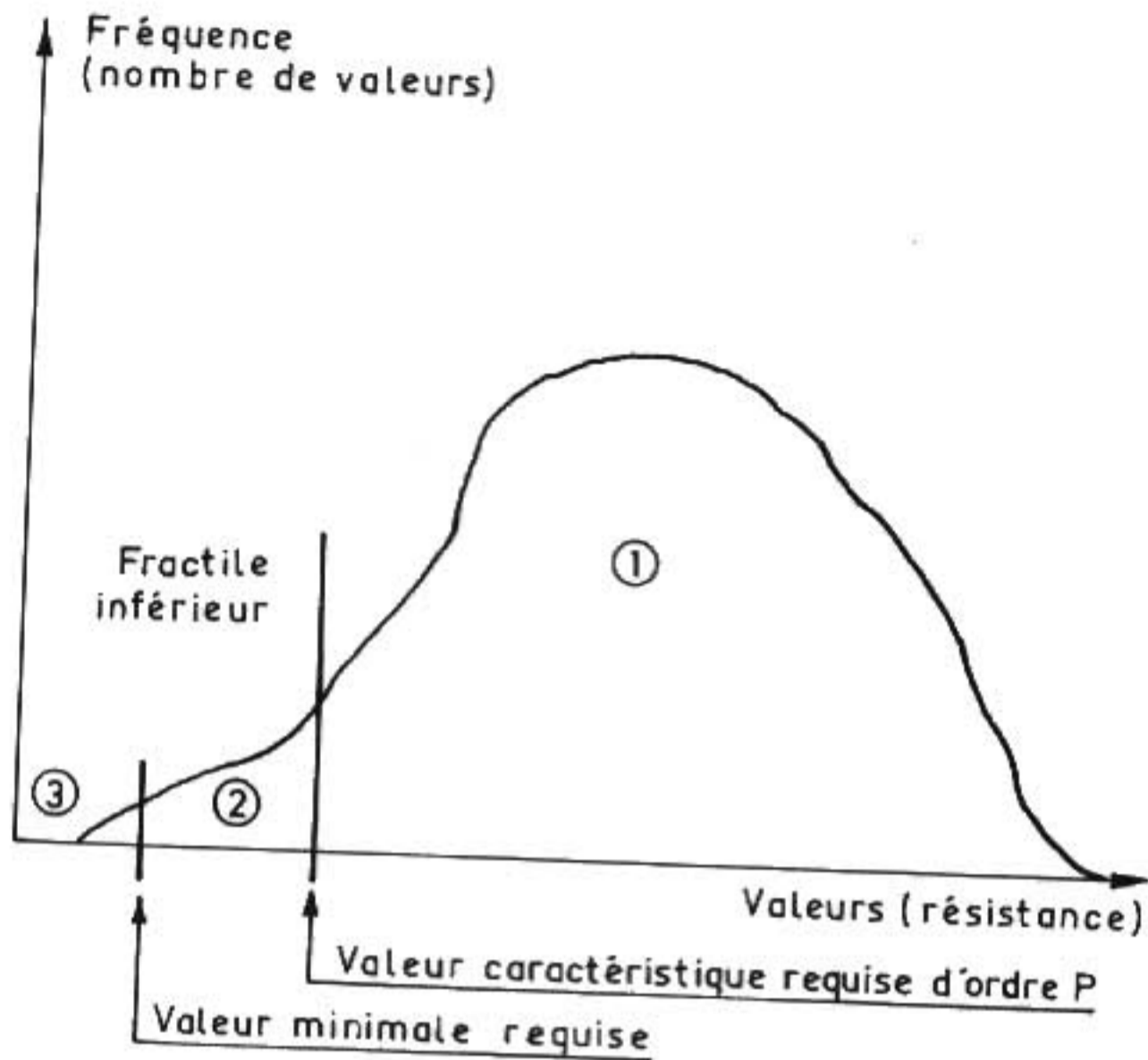


FIG. 2. — Histogramme de valeurs :
— zone 1 : bons, zone 2 : tolérés, zone 3 : défectueux.

4. BASES POUR L'ÉTABLISSEMENT DE LA CONFORMITÉ

En considérant les notions de plus en plus retenues de valeur caractéristique requise et de valeur minimale requise pour la résistance à la compression du béton, le schéma ci-dessous permet de classer les résultats issus d'un lot de fourniture en trois zones dans l'histogramme de distribution.

Les résultats qui appartiennent à chacune des zones de la figure 2 sont qualifiées de :

- bons pour la zone 1,
- tolérés pour la zone 2,
- défectueux pour la zone 3.

Un lot pour lequel on disposerait d'un grand nombre de résultats, serait conforme à la spécification si les deux conditions suivantes étaient simultanément vérifiées :

- le nombre de « tolérés » est au plus égal ou fractile inférieur P retenu (5, 10 ou 20 %),
- le nombre de défectueux est nul.

En pratique, on ne dispose que d'un faible, voire très faible nombre de résultats d'essais; la conformité est donc prononcée par application de règles qui font intervenir notamment le nombre de résultats.

4.1. Lotissement

Le lot devrait être défini par le client, en fonction des conditions d'utilisation mais en tenant compte autant que possible des conditions de production. Le béton d'un lot dans un ouvrage, caractérisé par sa résistance à la compression, doit correspondre à des éléments similaires du point de vue structural dans l'ouvrage.

Le lotissement devrait être défini avant la commande du béton et porté à la connaissance du fournisseur dans le cas du B.P.E. notamment. Un lot devrait correspondre le plus souvent à une opération continue de fabrication (voir dispersion du genre III). Exemples : une série de poutres bétonnées dans la journée; un voussoir de pont.

4.2. Échantillonnage

Les prélèvements sont faits au lieu d'utilisation. Leur nombre est défini en même temps que les lots.

Chaque prélèvement est issu d'une seule gâchée (ou charge) choisie au hasard.

Le prélèvement comporte généralement trois éprouvettes. Afin de pouvoir contrôler la qualité d'un plus grand nombre de gâchées (ou charges) avec un même nombre total d'éprouvettes, on peut réaliser des prélèvements de deux (voire de une) éprouvettes. Ces dispositions doivent être parfaitement spécifiées sur les cahiers des charges; elles ne peuvent s'appliquer que dans le cas où le laboratoire chargé des essais peut justifier une faible dispersion opératoire (genre I).

TABLEAU I — Valeurs indicatives pour la fréquence des prélèvements en fonction du volume de béton fabriqué

<i>Bâtiments</i>			<i>Génie civil</i>		
Volume total de béton	1 prélèvement au moins tous les	Avec un minimum de prélèv.	Volume total de béton	1 prélèvement au moins tous les	Avec un minimum de prélèv.
< 1 000 m ³	100 m ³	5	< 2 000 m ³	150 m ³	8
1 000 à 5 000 m ³	200 m ³	10	2 000 à 10 000 m ³	300 m ³	15
> 5 000 m ³	300 m ³	25	> 10 000 m ³	450 m ³	35

Dans le cas d'une définition difficile des lots à contrôler, la fréquence et l'importance des prélèvements pourront être celles données à titre tout à fait indicatif dans le tableau I [5].

5. LES DIFFÉRENTES RÈGLES D'ACCEPTATION

Suivant les différents règlements pour les constructions en béton, l'acceptation est basée sur la résistance à la compression, déterminée suivant les normes en vigueur.

Nous donnerons les règles actuellement utilisées ainsi que des propositions. Il s'agit d'essais de contrôle (voir § 3.2).

5.1. Résistance nominale (CCBA 68)

EN VIGUEUR

$$R_n = R_{28} - 0,8 s,$$

R_n : résistance nominale,

R_{28} : résistance moyenne sur éprouvettes à 28 jours,

s : écart-type.

Cette règle signifie donc en pratique que l'on accepte le risque de rencontrer 20 fois sur 100 une valeur inférieure à R_n .

En prenant un écart-type s de 5 MPa (50 bars) et la résistance nominale habituellement retenue de 27 MPa (270 bars) pour le béton armé courant, cela revient à « viser » une moyenne sur éprouvettes de 31 MPa (310 bars).

Deux inconvénients ressortent de cette règle :

- a) il n'apparaît pas de borne inférieure,
- b) aucune indication n'est donnée sur la valeur de l'écart-type s à prendre en considération ; la notion de lot n'existant pas dans ces règles, doit-on tenir compte de la variation de s au fur et à mesure de l'avancement de l'ouvrage ?

5.2. Résistance caractéristique

(Règlement Béton Précontraint - août 1973)

EN VIGUEUR

$$R_{28} = R_m - ks,$$

R_{28} résistance caractéristique requise à 28 jours d'âge,

R_m résistance moyenne,
 s écart-type,
 k coefficient, fonction du nombre n de valeurs prises en compte (tableau II).

TABLEAU II — Valeurs de K en fonction du nombre n de valeurs prises en compte

n	12	18	30	50	100	∞
k	2,06	1,86	1,69	1,57	1,46	1,28

De plus aucun prélèvement de trois éprouvettes ne doit accuser une résistance inférieure à la résistance caractéristique R_{28} .

5.3. Résistance requise pour la fourniture de Béton Prêt à l'Emploi (B.P.E. – NF P 18 305)

EN VIGUEUR

Dans la norme P 18 305 d'avril 1966, toujours en vigueur, il est simplement indiqué que la résistance moyenne de trois éprouvettes au moins doit être supérieure ou égale à la classe de résistance demandée.

$$R \geq B \text{ (tableau III)}$$

TABLEAU III — Classe de résistance pour le Béton prêt à l'emploi

<i>Classe de résistance</i> (bars)	B 150	B 200	B 250	B 300	B 350
en MPa	B 15	B 20	B 25	B 30	B 35

5.3.1. Projet de Norme P 18 305

PROJET

La dernière rédaction proposée dans le cadre de la révision en cours de la norme NF P 18 305, prévoit les spécifications suivantes :

Premier cas : $N \geq 30$

$$R_m - 1,28 \sigma \geq R_s$$

avec :

R_m résistance moyenne pour un lot de fourniture (moyenne de N prélèvements de trois éprouvettes au moins correspondant à N charges).

R_s résistance caractéristique spécifiée,

σ écart-type pour le lot.

Deuxième cas : $N < 30$

Utiliser le tableau IV.

TABLEAU IV — Valeurs minimales de la résistance moyenne R_m

N	$R_s \leq 30 \text{ MPa (300 bars)}$	$R_s > 30 \text{ MPa (300 bars)}$
1	0,86 R_s	0,90 R_s
2	0,97 R_s	0,98 R_s
3	1,02 R_s	1,01 R_s
4	1,05 R_s	1,03 R_s
5	1,07 R_s	1,05 R_s
6 à 8	1,08 R_s	1,06 R_s
9 à 11	1,11 R_s	1,08 R_s
12 à 19	1,13 R_s	1,09 R_s
20 à 29	1,15 R_s	1,11 R_s

De plus aucune charge contrôlée ne doit présenter de résistance inférieure à :

$$\begin{aligned}
 &0,86 R_s \quad \text{si } R_s \leq 30 \text{ MPa (300 bars)} \\
 &0,90 R_s \quad \text{si } R_s > 30 \text{ MPa (300 bars)}
 \end{aligned}$$

Par ailleurs, il n'est pas tenu compte des résultats relatifs à un prélèvement lorsque l'étendue des résistances obtenues sur les diverses éprouvettes de ce prélèvement est supérieure à 3,5 MPa (35 bars).

Ce dernier point est à noter, car il prend en compte la dispersion opératoire (dispersion du genre I).

5.4. Proposition pour une règle de conformité

PROJET

Nous donnons ici l'essentiel des propositions faites au sein du Groupe de Travail déjà cité. A noter que cette proposition concerne l'acceptation d'un lot bien défini (dispersion du genre III).

Chaque lot est représenté par n résultats ordonnés et notés :

$$R_1 \leq R_2 \leq \dots R_i \dots \leq R_n.$$

Le lot sera considéré comme conforme à la spécification si les résultats permettent de vérifier l'une et l'autre des deux conditions suivantes :

- 1) $R \geq R_K + K_1$
- 2) $R_1 \geq R_K - K_2 = R_{\min}$

Si l'une au moins de ces conditions n'est pas respectée, le lot sera considéré comme non conforme à la spécification.

R est la moyenne arithmétique des n résultats :

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

R_K est la valeur caractéristique requise d'ordre P (fractile inférieur 5 %),

R_{min} est la valeur minimale requise : R_{min} = R_K - K₂,

K₁ et K₂ sont deux paramètres qui dépendent de R_K et pour K₁ de n (tableaux V et VI).

TABLEAU V — Valeurs numériques proposées pour K1

<i>f_{bK}</i> (MPa)	< 30	30/40	> 40/ ≤ 50
n = 3	1,7	2,1	2,4
n = 5	2,3	2,7	3,2
n = 8	2,7	3,2	3,7
n = 10	2,8	3,4	3,9
n = 12	2,9	3,5	4,1
n = 15	3,0	3,7	4,3

1 MPa = 10 b.

TABLEAU VI — Valeurs numériques proposées pour K2

<i>f_{bK}</i> (MPa)	< 30	30/40	> 40/ ≤ 50
	2,5	3,0	3,5

Nous rappelons que dans le cas où il n'y a qu'un ou deux prélèvements, cas fréquent pour des lots isolés de faible importance en volume, seul le critère 2 est utilisé.

Les valeurs numériques de K₁ et K₂ ne constituent qu'une proposition. A l'issue des discussions en cours ces valeurs seront peut-être légèrement modifiées.

5.4.1. Exemples d'application

Exemple 1 :

A. Données

Ouvrage : Pont à poutres préfabriquées en béton précontraint.

Lot : Préfabrication de quatre poutres tous les deux jours.

Prélèvement : Deux prélèvements de trois éprouvettes par poutre, soit n = 8 pour le lot.

*Résistance caractéristique avec $P = 0,05$: $R_K = 32,5$ MPa (325 bars)
d'où $K_1 = 3,2$ (32 bars) et $K_2 = 3$ MPa (30 bars).*

Valeurs f_{bi} relevées pour le lot L (PMa) :

32,0 (320 bars)	37,0 (370 bars)	35,0 (350 bars)
36,2 (362 bars)	32,5 (325 bars)	34,8 (348 bars)
36,0 (360 bars)	34,5 (345 bars)	

B. Application

Valeur R moyenne : 34,7 MPa (347 bars)

*Critère 1 : $R \geq R_K + K_1$
 $34,75 \geq 32,5 + 3,2$ condition non respectée.*

*Critère 2 : $R_1 \geq R_K - K_2$
 $32,0 \geq 32,5 - 3$ condition respectée.*

Conformité : Lot non conforme à la spécification.

La dispersion entre prélèvements n'est pas anormale; c'est la valeur moyenne qui est trop basse : dosage en ciment insuffisant vraisemblablement.

Exemple 2 :

A. Données

Ouvrage : Maison individuelle.

Lot : Béton sur poutrelles et hourdis.

Prélèvement : Un prélèvement de trois éprouvettes pour l'unique charge de B.P.E.

*Résistance caractéristique : $R_K = 27,0$ MPa (270 bars) d'où :
 $K_2 = 2,5$ MPa (25 bars).*

Valeur de résistance relevée aux essais : $R_1 = 34,0$ MPa (340 bars).

B. Application

$R_1 \geq R_K - K_2$
 $34,0 \geq 27,0 - 2,5$ condition respectée

Conformité : Lot conforme à la spécification.

CHAPITRE 3

LES DIFFÉRENTS TYPES D'ESSAIS

A l'occasion de la rédaction des normes concernant les différents essais de béton (1969), le Groupe de Travail constitué à cet effet, a été amené à bien différencier les types d'essais suivant leur destination propre. Il a notamment réussi à faire accepter un distinguo entre les essais de contrôle et d'information. Il semble en effet logique de ne pas opérer de la même façon dans les deux cas suivants, donnés à titre d'exemple :

PREMIER CAS : *production de béton prêt à l'emploi*

Le producteur ne peut accepter que sa production soit contrôlée à l'aide d'éprouvettes subissant les aléas du chantier et notamment une conservation quelconque.

DEUXIÈME CAS : *mise en charge d'une partie d'ouvrage (mise en précontrainte, par exemple)*

Dans ce cas, il importe au contraire que les éprouvettes subissent une conservation aussi voisine que possible de celle du béton de l'ouvrage.

Les trois normes dont il va être question sont actuellement en révision pour des considérations touchant aussi bien au mode de prélèvement qu'à la conservation des éprouvettes. A tous ceux qui sont chargés du contrôle, nous recommandons vivement l'acquisition de ces documents révisés, dès leur parution.

Nous ne donnons dans ce qui suit, que l'essentiel des prescriptions des normes. Certaines des dernières propositions élaborées dans le cadre de la révision à laquelle l'auteur participe, figurent dans cet ouvrage.

1. ESSAIS DE RECHERCHE (NF P 18 403)

Destiné à étudier l'influence de certains paramètres sur les caractéristiques du béton, il est exécuté en laboratoire.

L'intérêt de cette norme réside surtout dans la possibilité pour différents laboratoires, d'échanger des résultats comparatifs.

La conservation des éprouvettes est réalisée dans l'eau à $20^{\circ} \text{C} \pm 1$ (fig. 3).



FIG. 3. — Bacs de conservation en tôle galvanisée pour éprouvettes.

2. ESSAIS D'ÉTUDE, DE CONVENANCE ET DE CONTRÔLE (NF P 18 404)

2.1. Définitions

Ils ont pour but essentiel, la détermination des caractéristiques intrinsèques du béton.

Essai d'étude : essai exécuté entièrement en laboratoire avec les constituants qui seront utilisés par le chantier dans le but de déterminer la composition du béton étudié compte tenu des caractéristiques demandées et des conditions de mise en œuvre.

Essai de convenance : essai ayant pour but de vérifier qu'avec les moyens du chantier, on peut réaliser avec un minimum d'aléas, le béton défini par l'essai d'étude. Il a également pour but de vérifier que les quantités de constituants prévues par mètre cube de béton procurent bien un mètre cube de béton.

Essai de contrôle : essai ayant pour but de vérifier la régularité de la fabrication et de contrôler si les caractéristiques prescrites sont bien atteintes durant toute la réalisation de l'ouvrage.

2.2. Processus d'exécution

Échantillonnage : suivant l'importance de la gâchée ou de la charge l'échantillon est constitué par un ou deux prélèvements. Il est destiné à la réalisation des essais prévus par le document contractuel. Chaque échantillon doit permettre au moins la réalisation d'un essai d'affaissement (NF P 18 451) et de trois éprouvettes par nature d'essai et par âge.

Le ou les prélèvements, au cours du déchargement de la gâchée ou de la charge, sont effectués dans les conditions suivantes :

Volume de la gâchée $\leq 0,5 \text{ m}^3$: un prélèvement provenant du milieu de la gâchée.

Volume de la gâchée ou de la charge $> 0,5 \text{ m}^3$: deux prélèvements provenant de la fin du premier tiers et du début du dernier tiers.

(voir § 6.2.3)

a) *Affaissement au cône* $\leq 12 \text{ cm}$: On utilise l'aiguille conformément à la norme NF P 18 422 ou la micro-table vibrante (vibration d'un cylindre à la fois); ce dernier procédé est recommandé notamment dans le cas où des essais spéciaux comme la perméabilité sont envisagés ainsi que pour certaines éprouvettes de petites dimensions.

b) *Affaissement au cône* $> 12 \text{ cm}$: La mise en place est réalisée par piquage suivant les instructions de la norme NF P 18 423.

Conservation

a) *Avant démoulage* : L'arasement à la règle étant terminé, les moules sont munis d'une feuille en film de polyéthylène d'épaisseur 0,05 mm fixée à l'aide d'un bracelet élastique; des couvercles spéciaux en matière plastique peuvent être utilisés.

Les éprouvettes sont conservées dans leur moule 24 h à $20^\circ \text{ C} \pm 2$ dans un local approprié (fig. 4).

Lorsque le durcissement l'exige, cette conservation dure 48 heures.

L'inscription du numéro d'ordre du registre de contrôle se fait sur le moule dans le cas du carton ou sur une étiquette dans le cas des moules métalliques ou en matière plastique.

b) *Après démoulage* : Immédiatement après le démoulage qui doit être effectué avec soin, chaque éprouvette est marquée. On évitera au

Différents types d'essais



FIG. 4. — Ensemble d'éprouvettes cylindriques dans leur moule et protégées par des feuilles de polyane.

maximum les chocs et la dessiccation lors du transport. Un dispositif simple en bois peut être réalisé pour le transport (fig. 5).

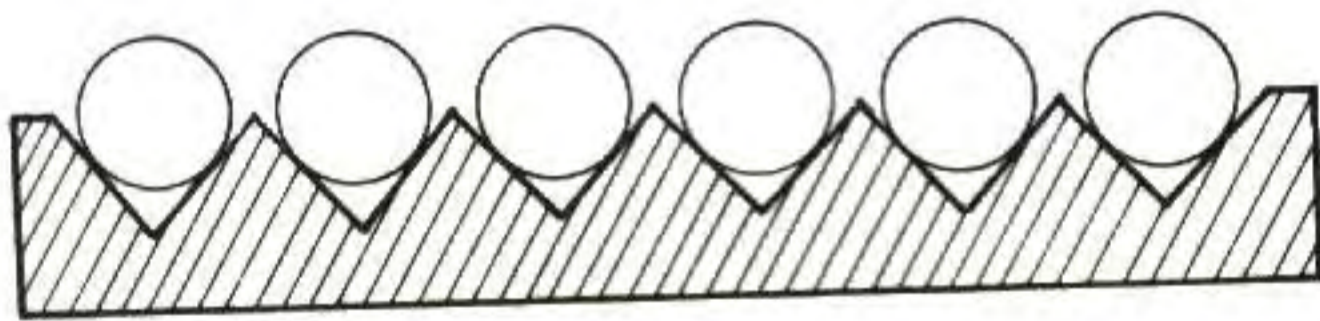


FIG. 5. — Vue d'un exemple de dispositif pour le transport des éprouvettes cylindriques au laboratoire (deux planches découpées en dents de scie).

La conservation après démoulage se fait à la température de $20^{\circ} \text{C} \pm 2$ dans l'eau ou en chambre humide d'humidité relative supérieure ou égale à 95 %.

La conservation dans des sacs en polyéthylène d'épaisseur minimale 0,2 mm clos aux extrémités est tolérée. Les moules en carton peuvent alors être maintenus jusqu'au moment de l'essai.

3. ESSAIS D'INFORMATION (NF P 18 405)

3.1. Définition

Les essais d'information se distinguent des essais précédents, essentiellement par le mode de conservation des éprouvettes et par la possibilité d'effectuer des mesures directement sur le béton de l'ouvrage. Ils sont réalisés pour estimer la qualité du béton de l'ouvrage en vue d'opérations diverses comme la mise en précontrainte, le transport d'éléments préfabriqués, le décoffrage, etc.

3.2. Processus d'exécution

Les prescriptions sont les mêmes que pour les essais de contrôle sauf pour les points suivants :

Serrage :

Éventuellement, après accord et stipulation particuliers sur le cahier des charges, la vibration des éprouvettes (temps notamment) peut être constante quelle que soit la plasticité du béton pour toute une partie d'ouvrage (Proposition pour révision de la Norme).

Conservation :

C'est le point essentiel qui différencie les essais d'information des autres types d'essais.

En effet, les éprouvettes sont conservées dans des conditions aussi voisines que possible de celles du béton de l'ouvrage lui-même. C'est évidemment très difficile à réaliser, du fait en particulier, des différences de masse entre l'ouvrage et les éprouvettes.

Les éprouvettes sont donc stockées à proximité immédiate ou sur l'ouvrage lui-même quand cela est possible. Dans ce cas, elles peuvent bénéficier, partiellement tout au moins, de la température dégagée par la masse de l'ouvrage durant les premières heures ou les premiers jours.

Dans le cas de l'étuvage, il est parfois pratiqué un étuvage des éprouvettes également, avec un dispositif qui permet d'obtenir une température identique à celle régnant dans la masse de l'ouvrage compte tenu du dégagement de chaleur dû au ciment.

Il serait d'ailleurs souhaitable que se multiplie ce type d'enceintes thermostatées pour les éprouvettes. Cela permettrait, pour les essais d'information, de reproduire des conditions thermiques identiques à celles

dans lesquelles se trouve le béton de la masse, même quand il n'y a pas étuvage.

3.3. Autres moyens d'investigation

Dans le cadre des essais d'information, tout moyen autre que les essais d'éprouvettes sont possibles. Il en est ainsi pour le scléromètre, la vitesse du son, le carottage, qui sont décrits dans les essais sur béton durci au chapitre 6.

Notons cependant que ces méthodes sont rarement employées pour un contrôle systématique. Il s'agit le plus souvent d'un recours en cas de contestation sur la qualité du béton, notamment en ce qui concerne le carottage.

4. RELATION ENTRE ESSAIS DE CONTRÔLE ET ESSAIS D'INFORMATION

D'une façon générale, la moyenne des résistances à l'écrasement obtenue en essais d'information (conservation in-situ) est plus basse que celle obtenue en essais de contrôle (conservation eau à 20° C), pour une même série de prélèvements et des ruptures à 28 jours.

Il pourrait arriver que quelques valeurs d'essais d'information soient supérieures à celles de contrôle. Il faudrait y déceler là, en plus d'un effet de la dispersion, des conditions particulièrement favorables du durcissement des éprouvettes conservées sur le chantier.

Sur la figure 6 sont représentées les variations de l'affaissement au cône et des résistances à l'écrasement des éprouvettes en essais d'information et en essais de contrôle pour une période d'un an environ.

On note facilement que les valeurs obtenues en information sont systématiquement inférieures à celles obtenues en contrôle, mais qu'il existe une assez bonne corrélation entre les deux. Cela signifie en particulier, que la conservation sur chantier n'a pas eu une influence marquante sur les résultats; ce sont donc les qualités intrinsèques du matériau béton lui-même qui sont à l'origine des variations de résistance constatées.

Il s'agit ici, des dispersions globales du genre IV (voir § 2.2).

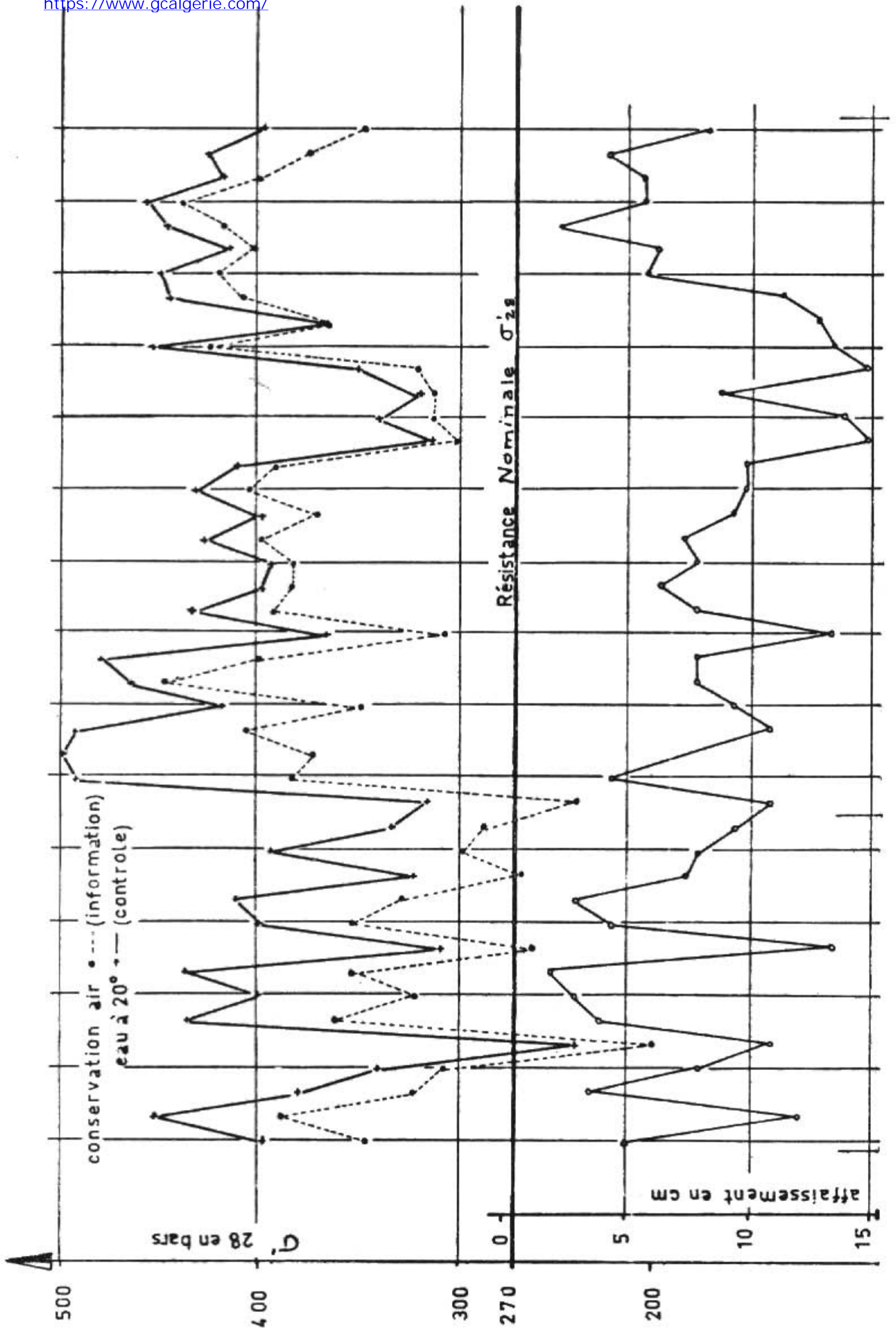


FIG. 6. — Relevé graphique chronologique de la consistance et des résistances à l'écrasement en contrôle et en information.

CHAPITRE 4

CONTRÔLE DE QUALITÉ DES CONSTITUANTS DU BÉTON

Le suivi des constituants doit aller de pair avec celui du béton, car des variations dans la qualité des premiers, entraînent des variations du même ordre dans la qualité du second.

NOTA. — L'ensemble de ce chapitre ne constitue qu'un guide pour les principaux essais à effectuer sur les constituants du béton. Les références bibliographiques déjà signalées, sont à reprendre pour le détail des essais.

1. CIMENT

1.1. Choix du ciment

Le choix du ciment en fonction de la destination du béton de l'ouvrage est très important. Il est même regrettable que dans un pays comme le nôtre, possédant un choix de ciments aussi large, on ne s'en préoccupe davantage.

Une étude préalable, peu coûteuse dans la plupart des cas, devrait être systématique pour tout ouvrage particulier. C'est ainsi que le C.E.B.T.P. réalise de plus en plus fréquemment des essais préliminaires (chimiques, mécaniques...) pour discerner les incompatibilités possibles de certains ciments avec les granulats.

Le choix du ciment portera principalement sur :

- sa nature, sa teinte,
- ses résistances,

- son temps de prise,
- sa composition chimique,
- sa chaleur d'hydratation...

Dans de nombreux cas de réalisation d'ouvrages en pays éloignés, le choix est malheureusement restreint du fait du petit nombre de cimenteries. Dans bien des contrées, il n'existe qu'une seule cimenterie. Mais les contre-indications d'utilisation sont parfois telles, qu'il est nécessaire de s'approvisionner dans un pays étranger. Une étude sérieuse avec incidence du coût du transport sur le prix de revient, est alors nécessaire.

Pour la préfabrication (en usine ou foraine) le choix doit porter en premier lieu sur les possibilités d'accélération de durcissement par chauffage du béton.

Dans ce cas, le pourcentage d'aluminate tricalcique (C_3A) est déterminant.

1.2. Contrôle et essais

Nous ne donnerons pas ici une énumération complète de tous les essais et des normes correspondantes de la série NF P 15 300 et 400. On se reportera utilement à d'autres ouvrages pour cela [6] [1].

Rappelons tout d'abord la révision récente des normes P 15 300 et 301 qui modifie notamment les classes de résistance à la compression et la désignation de certains ciments courants.

Les ciments avec ajouts vont être désignés par les initiales CPJ. Il s'agit des ciments composés d'au moins 65 % de clinker et de 35 % maximum de laitier, de cendres, de pouzzolane et de fillers.

Les classes de résistance à la compression de cette norme revue sont données dans le tableau VII.

Nous avons porté dans la première colonne à gauche la désignation suivant l'ancienne rédaction de la norme. On remarque notamment que les classes 325 et 400 deviennent 450 et 550. En fait, les fabrications n'ont pas changé ; les ciments sont maintenant désignés par une classe moyenne alors qu'auparavant il s'agissait d'une résistance nominale qui était très largement dépassée dans tous les cas. Pour les utilisateurs, il est toutefois regrettable que la fourchette à 28 jours soient de 200 bars.

REMARQUE : La rédaction de la norme P 15 301 a été élaborée dans la période de la crise de l'énergie pour laquelle les fabricants ont été contraints d'augmenter les proportions d'ajouts et de fabriquer ainsi des ciments en dérogation à la norme. Bon nombre d'utilisateurs constatant alors un durcissement moins rapide dans les bétons dû aux ajouts plus importants, ont pensé qu'il s'agissait là d'une conséquence de la nouvelle proposition de norme. Il n'en reste pas moins vrai que la nouvelle rédaction prévoit, bien entendu, la proposition actuelle d'ajouts dans les CPJ.

TABLEAU VII — Classes de résistance du ciment. Norme NF P 15 301 revue

Classe de l'ancienne Norme	Désignation de la classe	Sous-classe éventuelle	Résistances à la compression		
			2 jours limite inférieure	28 jours limite inférieure	28 jours limite supérieure
250	350	—	—	250	450
325	450	—	—	350	550
400	550	Rapide	150	350	550
		Rapide	225	450	650
500	T.H.R. (Très Haute Résistance)	—	300	550	—

Dans la norme P 15 300 *Vérification de la qualité des livraisons – Emballage*, les différentes prescriptions traitent notamment des échantillons conservatoires en vue d'une vérification éventuelle des qualités du ciment à la demande de l'utilisateur.

1.2.1. Essais de résistance mécanique (NF P 15 401, 403, 411, 412, 413)

Il s'agit essentiellement de mesurer les résistances à la flexion et à la compression, cette dernière étant la caractéristique de base pour la désignation des classes.

Les essais sont réalisés sur mortier 1/3 (une partie de ciment pour trois parties de sable). Le sable dit « sable normal » utilisé est de provenance unique pour la France.

Les éprouvettes prismatiques 4 × 4 × 16 cm, conservées dans l'eau après démoulage jusqu'au jour de l'essai sont d'abord rompues en flexion puis chacun des deux morceaux obtenus est soumis à l'essai de compression dans son sens transversal (fig. 7 et 8).

Pour des chantiers importants, les essais peuvent être réalisés sur place, mais ils nécessitent, en plus du local et du matériel normalisés, un personnel compétent.

La dispersion d'essai, malgré le respect des normes, est relativement importante. Les essais interlaboratoires (plus de cent vingt laboratoires y participent) organisés par le C.E.R.I.L.H. indiquent une dispersion à 28 jours de l'ordre de ± 60 bars en compression sur un même ciment.

1.2.2. Temps de prise (NF P 15 414 et 431)

La mesure du début et de fin de prise est couramment réalisée ; elle permet d'avoir un aperçu sur le comportement ultérieur du ciment dans des

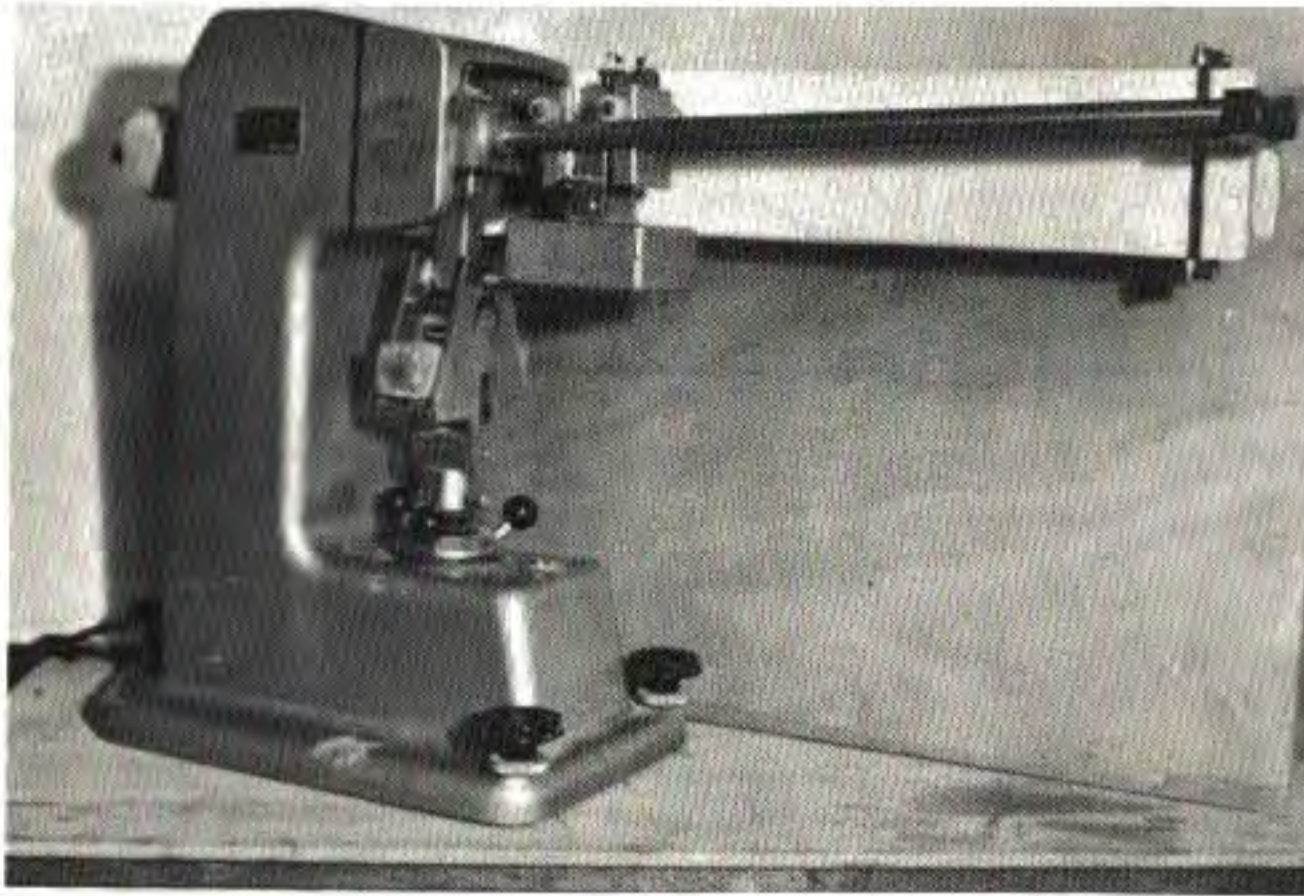


FIG. 7. — Machine automatique de flexion pour éprouvettes $4 \times 4 \times 16$.



FIG. 8. — Machine à chocs pour mise en œuvre des éprouvettes $4 \times 4 \times 16$.

TABLEAU VIII — Indications de temps de prise rencontrés

<i>Liant à prise</i>	<i>Début de prise</i>
Rapide	< 8 min
Demi-lente	8 à 30 min
Lente (liants courants)	30 min à 6 h
Très lente	> 6 h

TABLEAU IX — Temps de prise en fonction de la température pour un C.P.A. courant

Température °C	5	20	50	100
Début de prise (h)	8	3	1	1/4
Fin de prise (h)	15	6	2	1/3

conditions particulières d'utilisation comme les bétonnages par temps chaud ou par temps froid par exemple.

Il existe des appareils automatiques, mais l'aiguille de Vicat demeure le procédé le plus employé.

Le tableau VIII donne une idée des temps de début de prise.

L'influence de la température est bien entendu importante. Une augmentation de la température diminue le temps de prise et vice et versa. Ce phénomène est mis à profit par les préfabricants dans la technique d'étuvage. A titre indicatif, le tableau IX donne les temps en heures de début et de fin de prise pour un C.P.A. courant [7] en fonction de la température.

1.2.3. Essais chimiques (NF P 15 461)

Ils permettent à eux seuls, de connaître le comportement et l'évolution probable du ciment et du béton dans bien des cas.

L'analyse chimique complète permet de quantifier les éléments suivant le tableau X.

Les valeurs indiquées dans le tableau correspondent aux pourcentages minimum et maximum habituellement rencontrés pour les ciments fabriqués en France.

TABLEAU X — Composition chimique moyenne des ciments d'après PAPADAKIS et VENUAT. Les valeurs indiquées correspondent aux pourcentages minimum et maximum habituels pour les ciments fabriqués en France

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O ± Na ₂ O
19	2	1	62	0	1	0,2
25	9	5	67	3	3	1,3

A partir de cette analyse, il est possible, à l'aide des formules de Bogue, de déterminer les pourcentages respectifs de chacun des quatre composés principaux des ciments sans ajout :

Silicate Bicalcique (C₂S).

Silicate Tricalcique (C₃S).

Aluminate Tricalcique (C₃A).

Alumino-Ferrite-Tétracalcique (C₄AF).

1.2.4. Retrait et gonflement (NF P 15 433)

Ces déformations volumiques sont mesurées également sur éprouvettes 4 × 4 × 16 cm en pâte pure ou, de plus en plus, en mortier identique à celui des essais de compression. A titre indicatif, nous donnons quelques valeurs moyennes du retrait obtenu à 50 % d'humidité relative (tableau XI).

TABLEAU XI — Valeurs moyennes du retrait pour les ciments courants

	Retrait en μ/m		
	2 jours	7 jours	28 jours
Pâte pure	300	800	1 400
Mortier normal	100	350	600

1.2.5. Chaleur d'hydratation

Au moment de l'hydratation du ciment, un dégagement de chaleur se produit et se poursuit pendant plusieurs jours. Mais la plus grande partie de chaleur est dégagée dans les premières 24 h.

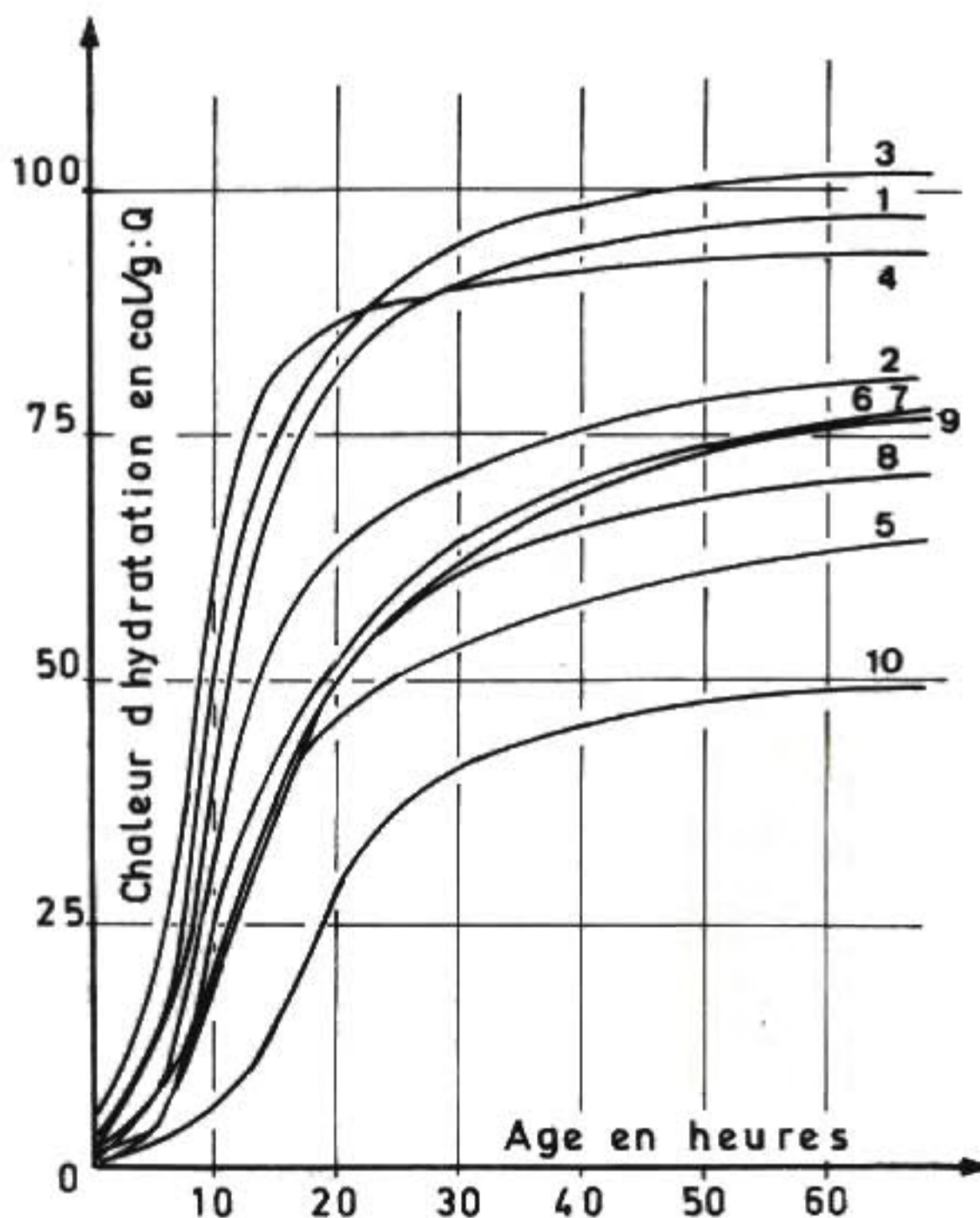


FIG. 9. — Chaleur d'hydratation pour dix ciments de nature différente.

Cette caractéristique, variable suivant les ciments, est importante à connaître car il s'ensuit des gonflements (et des retraits ensuite) plus ou moins importants dans les ouvrages massifs en béton. De plus, si la température extérieure est élevée, le dégagement exothermique du ciment est d'autant plus important.

On comprend donc pourquoi, dans les pays chauds, il est important de tenir compte de cette caractéristique dans le choix du ciment. De la même manière, on choisira un ciment à forte exothermie pour bétonnage par temps froid.

La chaleur d'hydratation Q s'exprime en cal/g ou en joule/g ; elle varie très sensiblement d'un ciment à un autre (plus du simple ou double) et est surtout fonction de la proportion de C_3A et de la finesse de mouture.

A titre indicatif, des courbes de chaleur d'hydratation de ciments différents sont représentées sur la figure 9. Les principales caractéristiques de ces ciments sont consignées dans le tableau XII. On remarque que la chaleur d'hydratation à 60 h est respectivement de 50 cal/g pour un C.L.K. (10) et 100 cal/g pour des C.P.A. 400 (3) (1) (4).

TABLEAU XII — Caractéristiques principales des ciments correspondant à la mesure de la chaleur d'hydratation de la figure 9

N°	Nature du ciment	Masse volumique g/cm ³	Finesse Blaine cm ² /g	Compression (daN/cm ²)		Flexion (daN/cm ²)	
				2 jours	28 jours	2 jours	28 jours
1	CPA 400	3,070	2 980	257	532	53,7	84,4
2	CPA 400	3,003	4 050	288	595	50	84,2
3	CPA 400	3,077	3 525	295	620	58,5	83,5
4	CPA 400	3,080	3 210	264	426	54,5	67,5
5	CPA 325	3,077	3 450	157	419	39	82,5
6	CPAL 325	3,02	3 340	157	554	33	86,2
7	CPAL 325	3,03	2 500	195	445	43	85,5
8	CPAL 325	2,991	3 160	210	502	44,8	85,8
9	PMF 2	2,832	3 450	145	417	36,8	82,2
10	CLK 325	2,936	3 280	114	414	28,8	78,7

1.2.5.1. Mesure de la chaleur d'hydratation

- Non normalisés, les essais peuvent être réalisés selon les méthodes :
- de la bouteille isolante (calorimètre de Langavant),
 - de la chaleur de dissolution,
 - du calorimètre adiabatique,
 - du calorimètre à conduction.

La première méthode, la plus répandue et la moins coûteuse, donne des résultats plus dispersés d'un laboratoire à un autre (fig. 10). Toutes ces méthodes, plus ou moins délicates, ressortent du laboratoire. Des étalonnages et des renseignements pratiques peuvent être obtenus auprès du C.E.R.I.L.H., où ont été mises au point ou améliorées la plupart de ces méthodes.

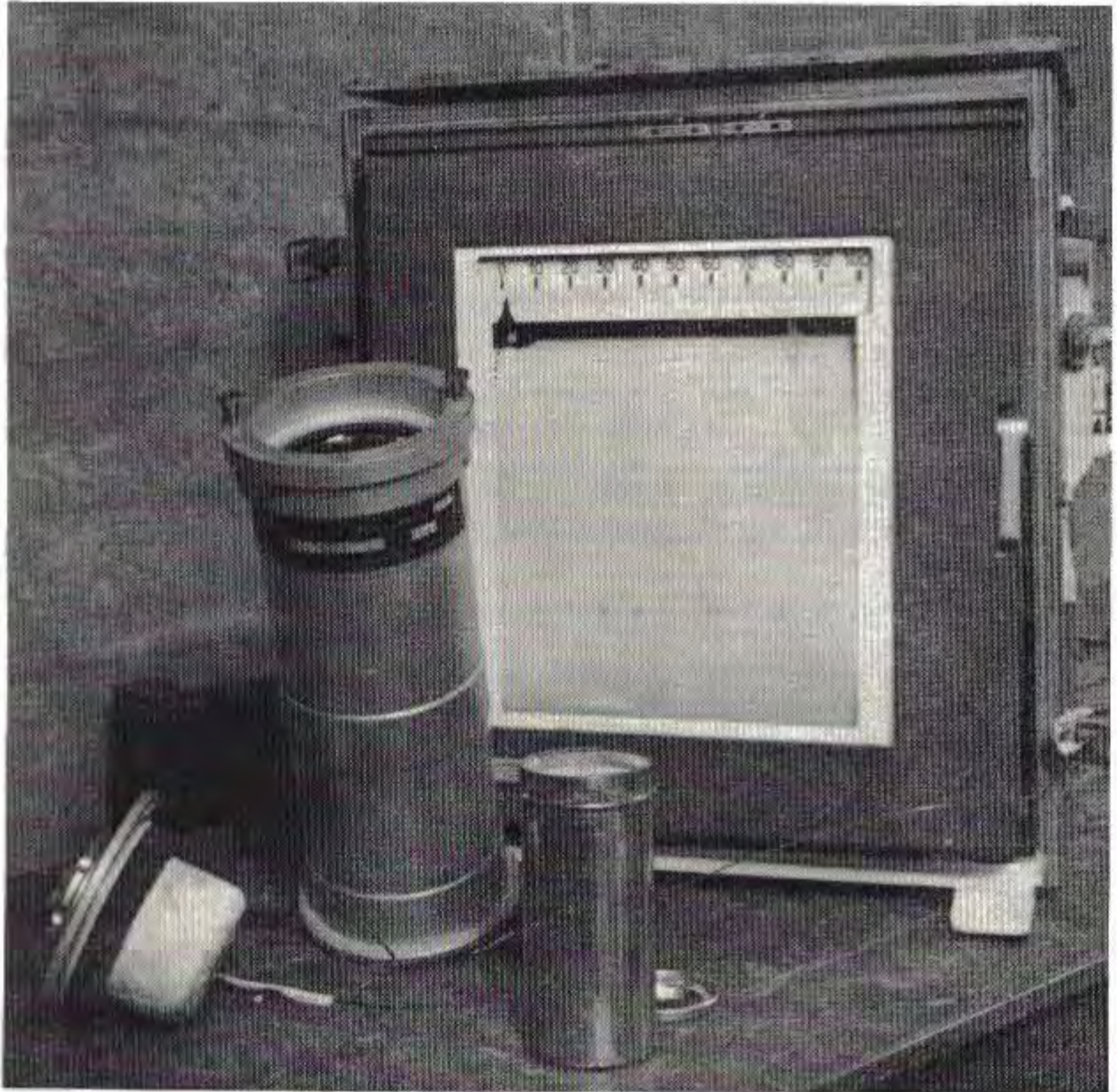


FIG. 10. — Bouteille isolante pour la mesure de la chaleur d'hydratation (méthode de LANGAVANT).

2. GRANULATS

Éléments inertes entrant dans la composition des bétons, il s'agit des sables, gravillons, graviers, cailloux, pierres cassées, moellons.

2.1. Choix des granulats

Quand le choix est possible, il porte principalement sur la nature minéralogique, la masse volumique, la propreté, la dureté, la forme, la granulométrie, l'altérabilité, l'absorption d'eau. En fait, dans bien des cas, le choix est restreint, du fait de la distance entre la carrière et le chantier et de l'incidence du coût du transport sur le prix de revient.

Mais il est parfois nécessaire de s'approvisionner à une carrière plus éloignée afin de satisfaire aux exigences du cahier des charges.

2.2. Contrôle et essais des granulats à béton

Ils ne sont pas systématiques et obligatoires dans tous les cas; ils seront effectués, en cours d'exécution d'ouvrages en béton, suivant les prescriptions ou règles retenues pour l'ouvrage.

Actuellement, des prescriptions d'essais, émanant en partie des modes opératoires du L.C.P.C., sont à l'étude en vue de les transformer en Normes (annexe 2.1). Dans le but du maintien de la qualité du béton, il faut signaler que bien des essais dont il va être question, peuvent être réalisés à peu de frais.

2.2.1. Nature minéralogique et dureté

Pour une même carrière, dont le gisement est important et homogène, les essais en cours d'exécution sont très restreints, voire inexistant. Seule,

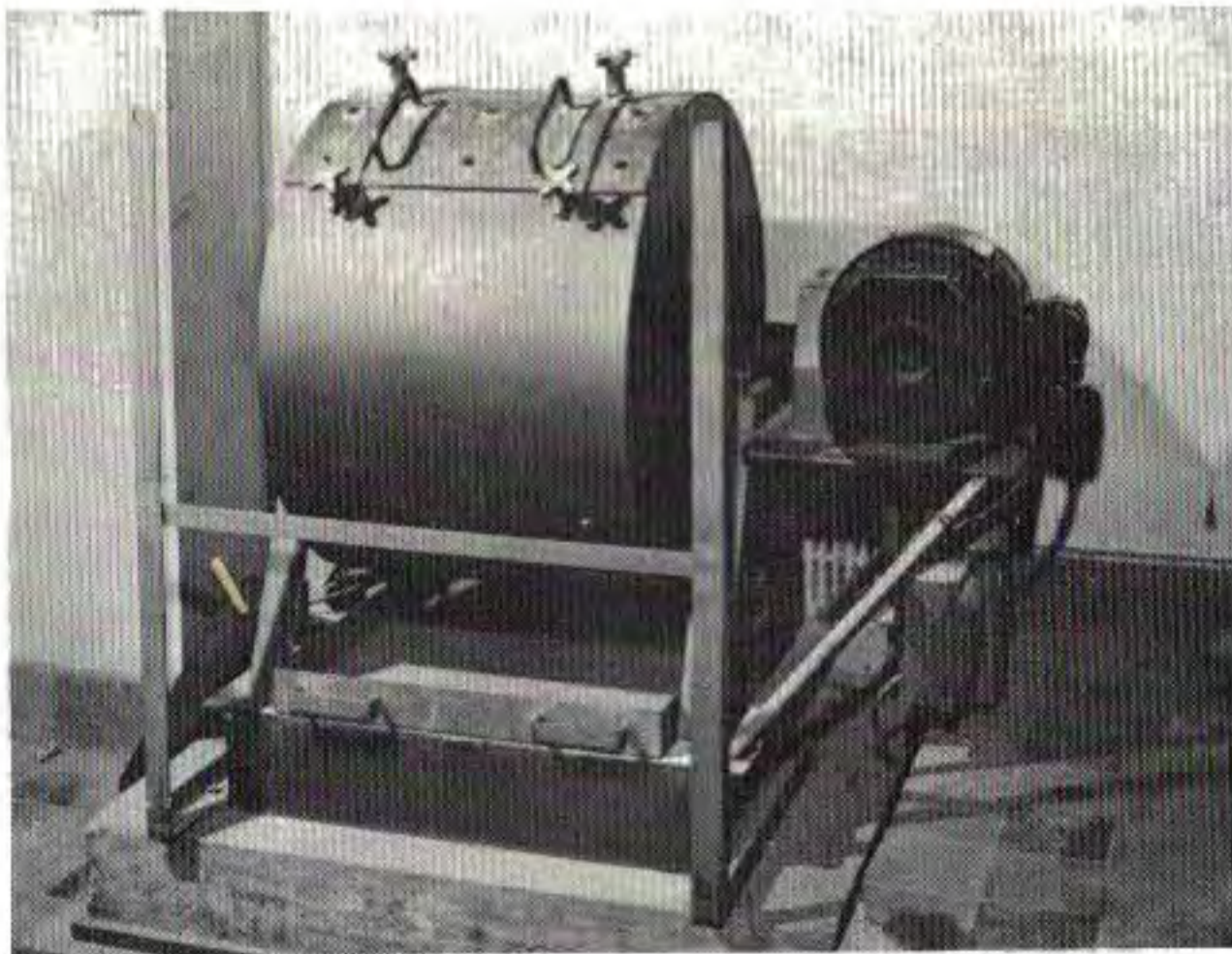


FIG. 11. — Appareil Los-Angeles pour la détermination de la résistance à la fragmentation.

la détermination du pourcentage de calcaire, s'il est très variable, ou de la proportion d'un élément friable indésirable est à suivre.

La nature minéralogique est souvent déterminée avant réalisation de l'ouvrage.

Elle influence la résistance du béton de par sa dureté et son adhérence. L'adhérence est importante [8] puisque, avec certains calcaires durs, la résistance du béton est améliorée par rapport à un granulat de dureté plus grande mais moins adhérent à la pâte de ciment.

La dureté est mesurée le plus souvent par l'essai Los Angeles ou Deval. L'essai consiste à faire subir à un échantillon de 5 kg, une abrasion par rotation d'un cylindre garni de boulets (fig. 11). Après 500 tours, l'échantillon est tamisé au tamis de 1,6 mm. Le coefficient Los Angeles est égal au rapport des éléments $< 1,6$ mm au poids total de l'échantillon.

A titre d'indication, un granulat calcaire extrait d'un silico-calcaire de Seine donne 26, alors que le silex extrait du même silico-calcaire donne 18 de coefficient. Dans le projet du fascicule 23 concernant les granulats pour bétons de Génie Civil, il est recommandé des coefficients Los Angeles inférieurs à 35, 40 et 45 pour les niveaux de valeurs respectifs A, B et C.

2.2.2. Masse volumique (NF P 18 301)

Deux valeurs sont à distinguer :

- la masse volumique apparente d'un ensemble de grains,
- la masse volumique du grain.

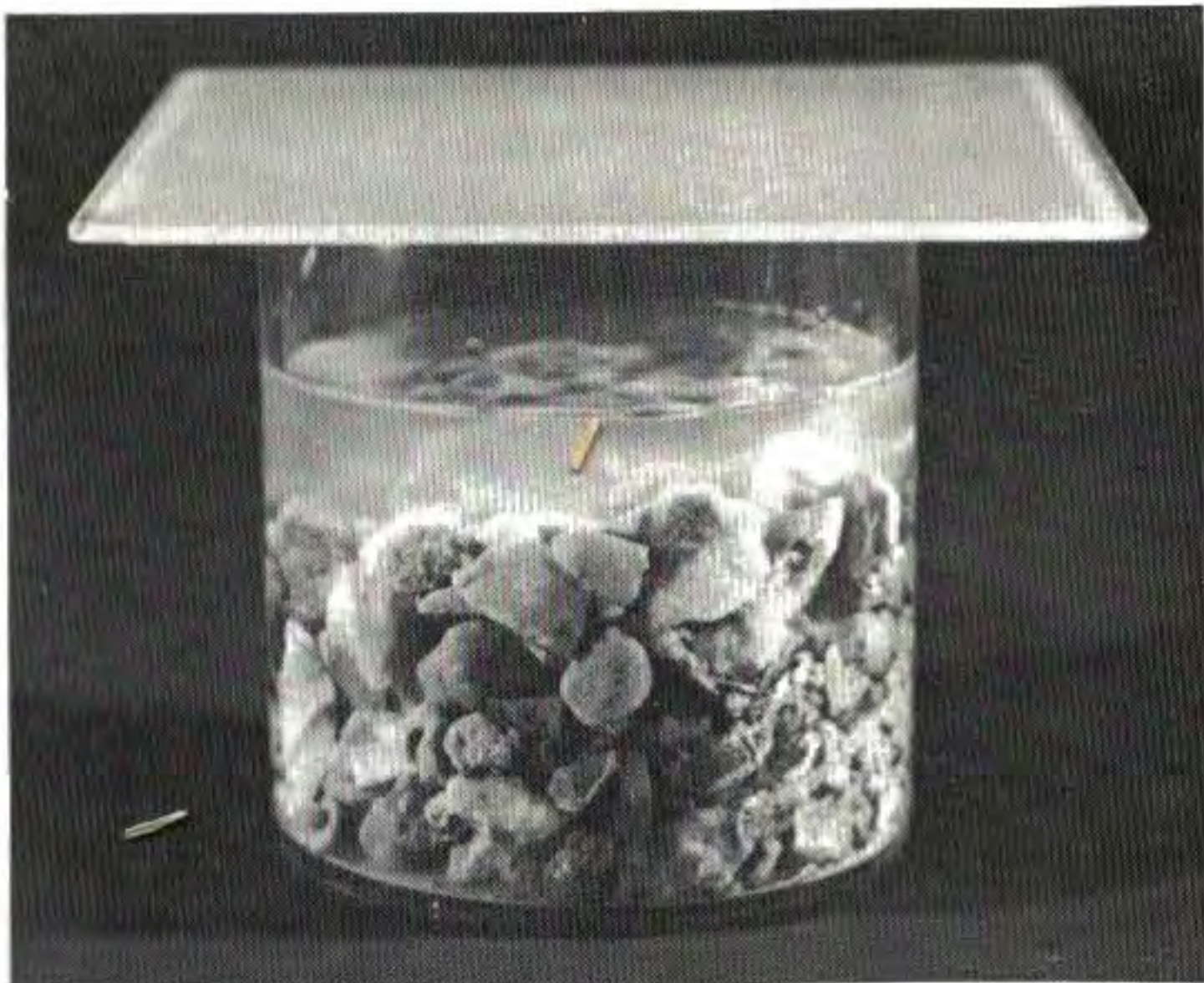


FIG. 12. — Bocal à bord rodé pour la détermination de la masse volumique du grain.

Masse volumique apparente : elle est utile à connaître pour le dosage volumétrique des granulats. La masse volumique dans ce cas varie en fonction de la teneur en eau notamment pour le sable qui foisonne (cf. 5.1.1).

Pour réaliser une mesure dans de bonnes conditions, il est nécessaire d'avoir un récipient suffisamment grand (pour diminuer l'effet de paroi) et de volume parfaitement connu.

La masse volumique apparente des granulats naturels courants varie de 1 300 à 1 600 kg/m³ suivant la nature minéralogique et la teneur en eau.

Masse volumique du grain : sa détermination est nécessaire pour le dosage pondéral (cf. 5.1.2). Le plus souvent elle est mesurée à l'aide du picnomètre à eau ou du bocal à bord rodé (fig. 12) quand les granulats ne sont pas trop poreux.

Elle varie assez peu pour la plupart des granulats naturels courants : en moyenne 2 450 à 2 650 kg/m³. Pour les granulats naturels lourds elle peut atteindre 4 000 à 5 000 kg/m³ pour la barytine et la magnétite.

2.2.3. Propreté des granulats

a) *Granulats supérieurs à 5 mm* (gravillons, graviers) (NF P 18 301)

La norme est actuellement en révision notamment pour modification du pourcentage toléré de vase, limon, argile et matières solubles éliminées par lavage et décantation. Vraisemblablement, la valeur de 1,5 % sera proposée contre 5 % qui existait jusqu'alors. C'était évidemment trop et préjudiciable à une bonne adhérence du granulat à la pâte de ciment.

L'essai lui-même est très simple : l'échantillon est déshydraté complètement et pesé. Lavé à grande eau jusqu'à propreté parfaite, il est séché et pesé à nouveau.

Le pourcentage d'impuretés est $100 \times \frac{P_1 - P_2}{P_2}$

avec

P_1 masse de granulat sec avant lavage

P_2 masse du granulat sec après lavage.

On fera en sorte de prélever un échantillon représentatif, ce qui est plus délicat quand le prélèvement est fait sur un tas de granulats stockés sous la pluie.

Le projet de fascicule 23 stipule que ces granulats doivent contenir moins de 2 % de grains passant au tamis de 0,5 mm dans les conditions du mode opératoire du L.C.P.C. De plus, l'indice de plasticité (mécanique des sols) du passant à 0,5 mm doit être non mesurable.

b) Sables à béton

1. *Éléments argileux.* — Une première vérification peut être faite visuellement en prenant le sable dans la main ; on se rend compte ainsi rapidement si l'on est en présence d'un sable sale.

Un lavage à l'eau claire puis une décantation en éprouvette transparente donnent de bons renseignements également.

Mais la mesure la plus pratiquée et la plus représentative demeure l'essai d'Équivalent de Sable réalisé dans des éprouvettes à l'aide d'une solution lavante.

Après agitation et décantation, la mesure des niveaux H_1 (hauteur de sable propre) et H_2 (hauteur totale sable propre + flocculat) se fait à l'aide d'un régllet millimétré à partir du fond de l'éprouvette (NF P 08 501).

$$E.S. = 100 \frac{H_1}{H_2} \text{ (fig. 13 et 14).}$$

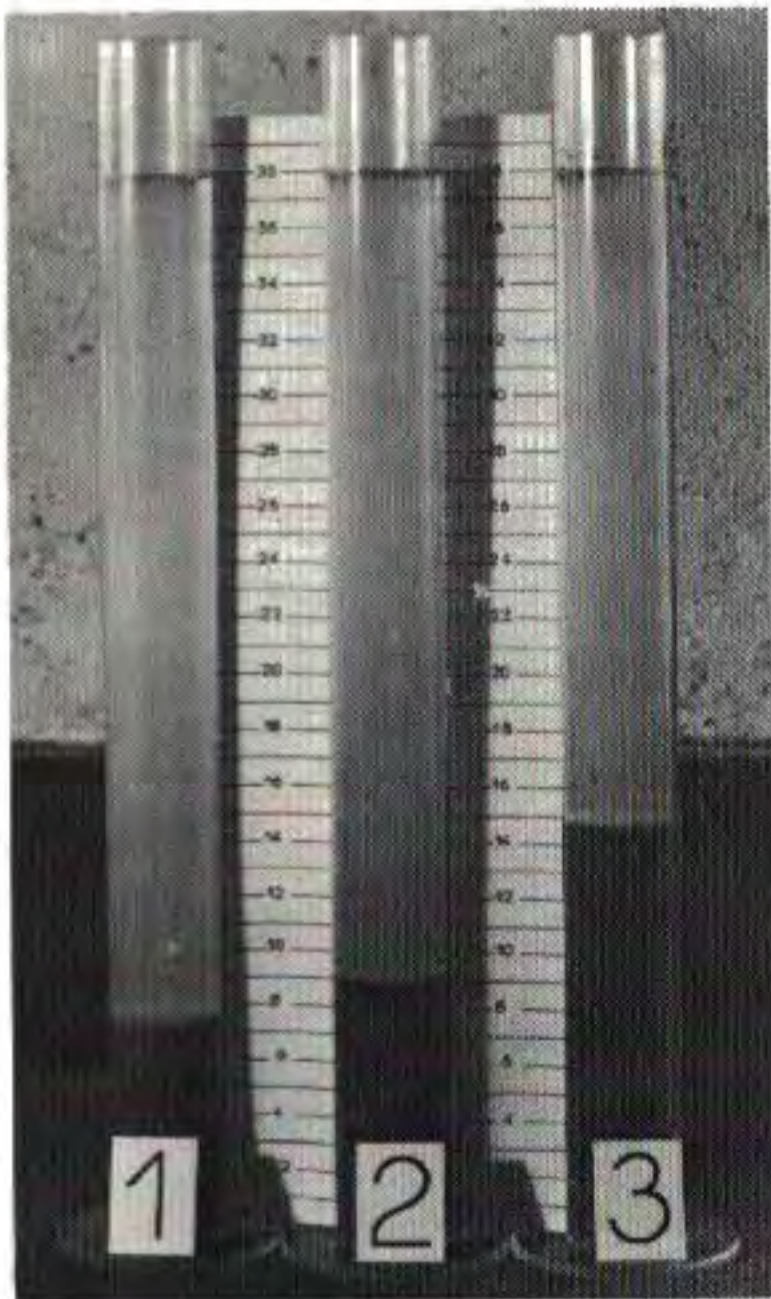


FIG. 13. — Éprouvettes pour la mesure de l'Équivalent de sable.

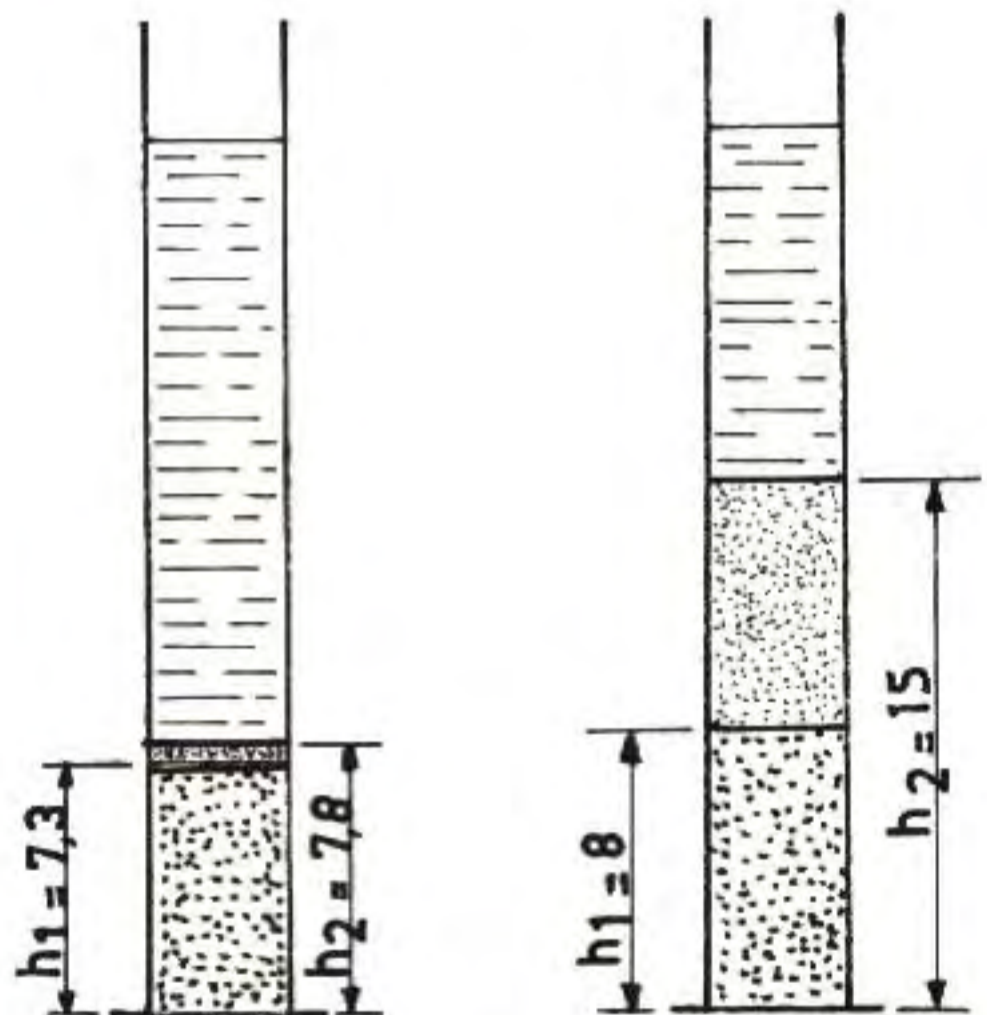


FIG. 14. — Mesure de l'Équivalent de sable E.S. :
1. E.S. = 92 2. E.S. = 53

Rappelons que l'Équivalent de Sable est essentiellement fonction de l'intensité du lavage à la carrière et qu'un sable trop lavé (E.S. très élevé) est quelquefois déconseillé, surtout dans le cas de sables déjà pauvres en éléments fins. En effet, au lavage, des éléments fins utiles à la maniabilité du béton, sont entraînés avec l'argile par l'eau.

Les valeurs minimales à respecter pour l'Équivalent de Sable, mesuré à vue, s'étagent de 70 à 85, suivant la destination du béton (tableau XIII) [9].

TABLEAU XIII — Valeurs souhaitables de l'Équivalent de sable

<i>E.S. à vue</i>	<i>E.S. piston</i>	<i>Nature et qualité du sable</i>
E.S. < 65	E.S. < 60	<i>Sable argileux</i> : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq E.S. < 75$	$60 \leq E.S. < 70$	<i>Sable légèrement argileux</i> de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq E.S. < 85$	$70 \leq E.S. < 80$	<i>Sable propre</i> à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité (valeur optimale E.S. piston = 75; E.S. à vue = 80).
E.S. ≥ 85	E.S. ≥ 80	<i>Le sable très propre</i> : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

2. *Matières organiques.* — Décrit dans la norme NF P 18 301, cet essai, réalisé à l'aide de soude caustique, permet de rejeter les sables contenant trop de matières organiques. C'est un essai visuel qui consiste à comparer la teinte de l'échantillon analysé avec celle d'une solution type.

2.2.4. Forme des granulats

On sait qu'un granulat de forme anguleuse avec des aiguilles et des plats, obtenu le plus souvent par concassage, est préjudiciable à une bonne maniabilité du béton. Dans bien des cas, on est amené à utiliser les matériaux tels qu'ils se présentent pour des questions de proximité de la carrière et du chantier. Mais il arrive qu'en utilisant à la fois un gravier concassé et un sable concassé, le béton manque vraiment de maniabilité et donne une compacité et des parements moins bons. On peut donc être amené à corriger la composition par ajout de filler par exemple. De toute manière, il faut, à la carrière, avoir des bons concasseurs et bien réglés.

La mesure du coefficient volumétrique renseigne bien sur la forme d'un granulat.

Pour un grain, le coefficient volumétrique C_v est le rapport de son volume absolu au volume de la sphère circonscrite à la plus grande dimension de ce grain : $C_v = \frac{v}{\frac{\pi d^3}{6}}$. Le coefficient est d'autant plus élevé que

le granulat est de forme plus arrondie (fig. 15).

Le coefficient volumétrique est bien entendu déterminé pour un ensemble de grains (0,500 à 1 kg suivant la dimension D) :

$$C_v = \frac{\sum v}{\frac{\pi}{6} \sum d^3}$$

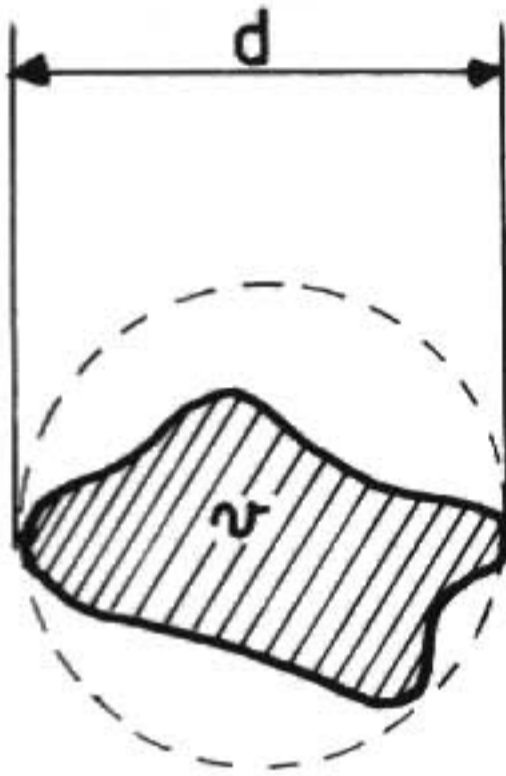


FIG. 15. — Détermination du coefficient volumétrique d'un granulat.

Une valeur $C > 0,20$ pour le gravier devrait être un minimum mais la maniabilité du béton dépendra davantage de la granularité du sable.

2.2.5. Granulométrie (NF P 18 304)

La connaissance de la courbe granulaire des granulats est nécessaire pour déterminer la composition optimale du béton. La granulométrie du sable est indispensable pour l'étude d'un béton de qualité. Ce sont les éléments les plus fins qui influencent le plus le dosage en eau, la maniabilité, la compacité, l'aspect du béton.

L'analyse granulométrique est exécutée sur des tamis (trous à maille carrée) après séchage de l'échantillon. Les refus successifs récupérés sur chacun des tamis sont pesés. La courbe granulométrique d'un granulat est représentée en abscisse par la dimension du côté de la maille du tamis, en ordonnée par le pourcentage des tamisats cumulés (complément du refus) (fig. 16).

Plus l'analyse porte sur des éléments de petite dimension, plus elle est longue. Pour des grains de diamètre inférieur au 1/10 de mm, l'analyse parfaite (aucun élément ne passe plus) est pratiquement impossible.

Des machines à tamiser sont parfois utilisées ; dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer des contrôles manuels, surtout pour le sable.

2.2.5.1. Granularité des sables à béton

Elle est fondamentale dans la rhéologie du béton et, comme elle influe sur le dosage en eau et la compacité, elle est donc influente sur les qualités du béton durci.

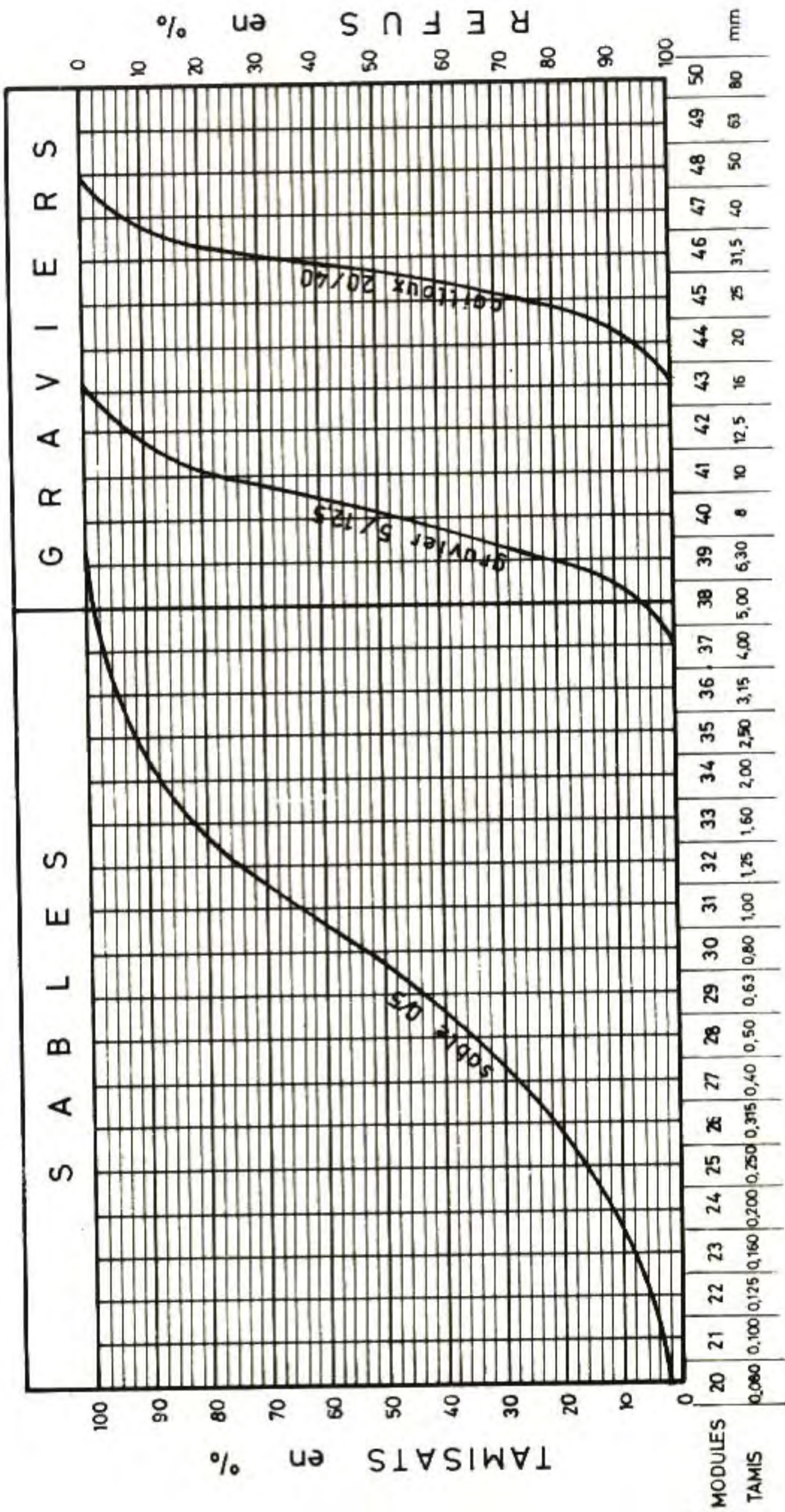


FIG. 16. — Courbes granulométriques concernant trois granulats.

- On caractérise habituellement la finesse d'un sable à béton par :
- l'allure de la courbe granulaire elle-même,
 - le module de finesse,
 - le pourcentage d'éléments inférieurs à 80 μ (0,08 mm).

a) *L'allure de la courbe* est définie par un fuseau granulométrique. Le C.P.C. concernant l'Exécution des Ouvrages en Béton Armé, fascicule n° 65, prescrit un fuseau pour les sables à béton (fig. 17).

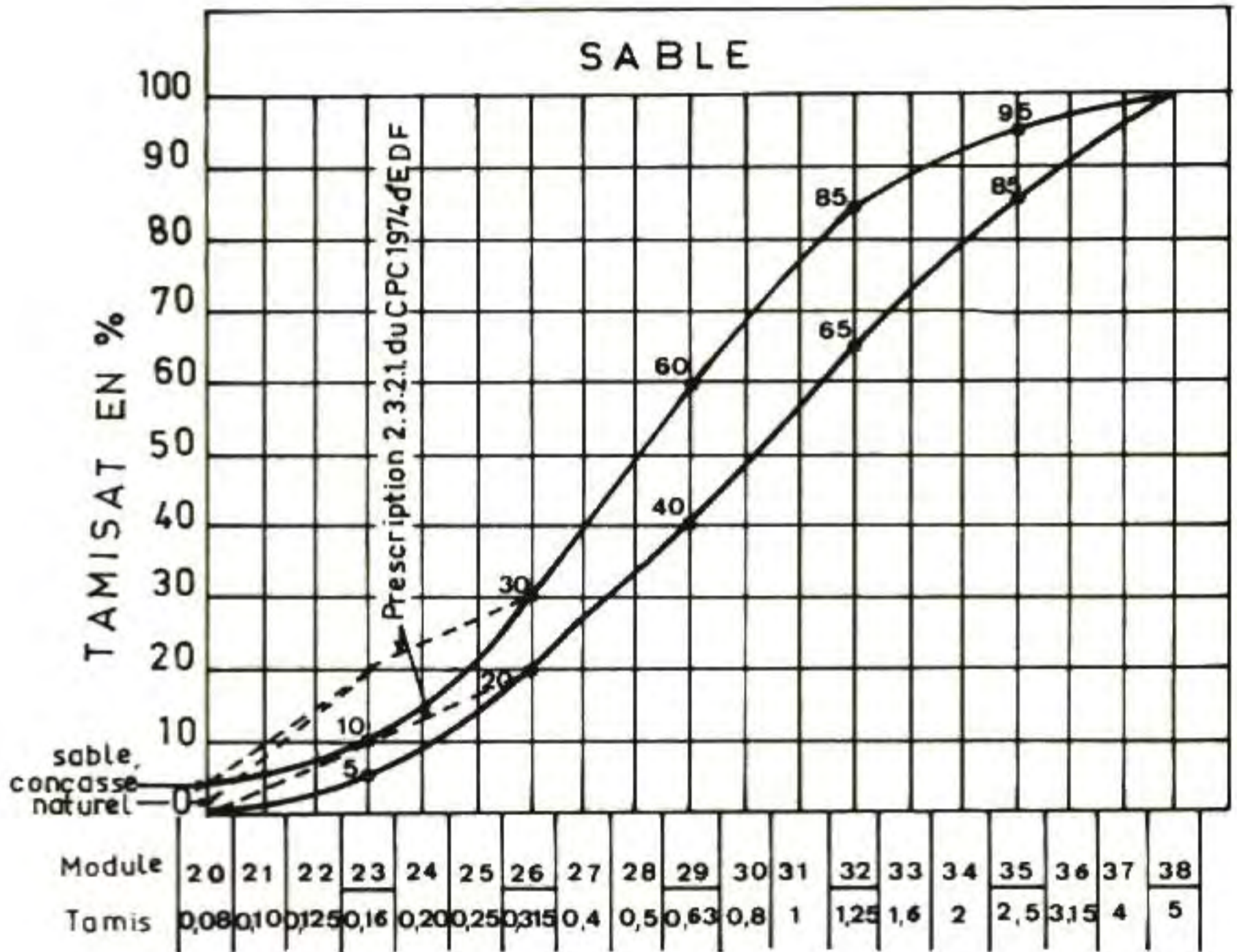


FIG. 17. — Fuseau granulométrique des sables à béton (Fascicule 65).
On remarque également le fuseau complémentaire de l'E.D.F. pour les éléments fins.

La tendance serait actuellement de donner des fuseaux suivant les Régions.

Sur la figure est indiquée également le fuseau prescrit par la Prescription 2.3.2.1. du C.P.C. 1974 de l'E.D.F. On remarque que le fuseau diffère de celui du fascicule n° 65, uniquement dans sa partie basse, c'est-à-dire pour les éléments fins inférieurs à 0,315 mm.

C'est l'étanchéité du béton qui a surtout été recherchée par cette dernière prescription.

Un tel sable (fuseau E.D.F.) est plus rare ; il ne correspond pas au sable moyen sur le plan national. Aussi, dans bien des cas, il est nécessaire de

corriger le sable retenu avec un apport d'éléments plus fins, genre sablon, sable de Fontainebleau ou filler.

Il est à noter qu'un certain pourcentage de filler est non seulement toléré mais prescrit.

D'une façon générale, un bon sable à béton a une courbe granulométrique dont la forme est sensiblement celle représentée sur la figure 16.

b) *Le module de finesse* : il est égal, pour le sable, au 1/100 de la somme des refus aux tamis de maille : 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 et 5 mm. Le module de finesse des courbes limites du fuseau de la figure 17 est de 2,2 pour la courbe supérieure et de 2,8 pour la courbe inférieure (traits pleins, Fascicule 65).

Des études expérimentales ont montré qu'un bon sable donnant les meilleurs résultats dans le béton, est celui dont le module de finesse se situe aux environs de la valeur $MF = 2,5$ [10].

La courbe d'un tel sable se situe justement dans le milieu du fuseau précédent.

c) *Le pourcentage d'éléments < 0,08 mm* : appelés généralement filler, ces éléments, pourvu qu'ils soient propres et de nature minéralogique satisfaisante, sont souvent intéressants dans le béton, notamment pour les bétons à faible dosage en ciment. Le pourcentage doit cependant rester modéré ; il est souvent de l'ordre de 1 à 5 % dans les sables courants. Des proportions plus importantes d'éléments fins siliceux (8 à 12 %) peuvent être avantageuses dans bien des cas, à la condition d'effectuer une étude préalable [11].

Plusieurs essais sont actuellement à l'étude afin de pouvoir déterminer les fines utiles et les fines nuisibles.

2.2.6. Classes granulaires (NF P 18 304)

Les granulats à béton sont souvent du type d/D , d désignant la plus petite dimension ; D la plus grande ; ex. 20/40.

Si $d < 0,5$ mm, le granulat est dit 0/ D .

Dans le cas d'une livraison importante pour un ouvrage donné, il est bon de vérifier si les prescriptions de la norme NF P 18 304 sont respectées. A cet effet, G. DREUX a bien résumé les différentes règles dans le tableau XIV.

2.2.7. Altérabilité. Réaction alcalis-granulats

Depuis quelque temps se développe ce type d'analyses qui permet d'avoir une idée sur la réaction et l'altérabilité des granulats dans le béton dans le temps.

TABLEAU XIV — Conditions auxquelles doit satisfaire un granulat d/D

- Refus sur le tamis de maille D et tamisat sous le tamis de maille d $\left\{ \begin{array}{l} \leq 15 \% \text{ si } D > 1,56 d \\ \leq 20 \% \text{ si } D \leq 1,56 d \end{array} \right.$
A remarquer qu'en général $D > 1,56 d$.
- Refus sur le tamis $1,56 D = 0$.
- Tamisat sous le tamis de maille $0,63 d$ $\left\{ \begin{array}{l} < 3 \% \text{ si } D > 5 \text{ mm} \\ \leq 5 \% \text{ si } D \leq 5 \text{ mm} \end{array} \right.$
- Si $d < 0,5 \text{ mm}$ le granulat est dit $0/D$.

Certains laboratoires, et en particulier le C.E.B.T.P., ont été alertés par ces questions à la suite d'interventions sur des ouvrages en sites étrangers qui présentaient des dégradations dans le béton.

Pour la mise en évidence de ces phénomènes, il faut procéder à une étude de compatibilité, en particulier avec le ciment, surtout s'il s'agit d'ouvrages à la mer ou en milieu agressif pour le béton d'une façon générale.

Si le ciment contient plus de 0,6 % d'alcalis déterminés par la formule : $\text{Alcalis } \% = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$ (ASTM C114.69), il est conseillé d'effectuer des essais préliminaires sur les granulats surtout si ceux-ci contiennent par exemple de l'opale ou des calcaires dolomitiques.

Les différents essais actuellement pratiqués ressortent des normes ASTM.

Pour l'altérabilité, les granulats dont on a préalablement défini les classes granulométriques sont soumis aux 5 ou 10 cycles suivants :

— immersion dans une solution de sulfate de magnésium ou de sulfate de sodium ;

— séchage à 105° C .

A l'issue des cycles, on note les pertes des poids de chaque fraction.

Pour la réactivité alcalis-granulats, un échantillon réduit du granulat est placé en présence de soude normale pendant 24 h à 80° C . On mesure ensuite la réduction d'alcalinité de la solution et sa teneur en silice (fig. 18).

2.3. Cas particulier des granulats légers

Depuis quelques années, sont apparus sur le marché de la profession, des granulats préparés artificiellement. Il s'agit principalement des granulats d'argile, de schiste et de laitier expansés.

La pâte constituant la matière première est homogénéisée avec une teneur en eau bien définie. Les nodules fabriqués avec cette pâte sont ensuite portés rapidement à haute température ($1\ 300^\circ \text{ C}$ environ) pour former des grains durs à l'intérieur desquels une quantité importante de bulles de gaz sont enfermées.

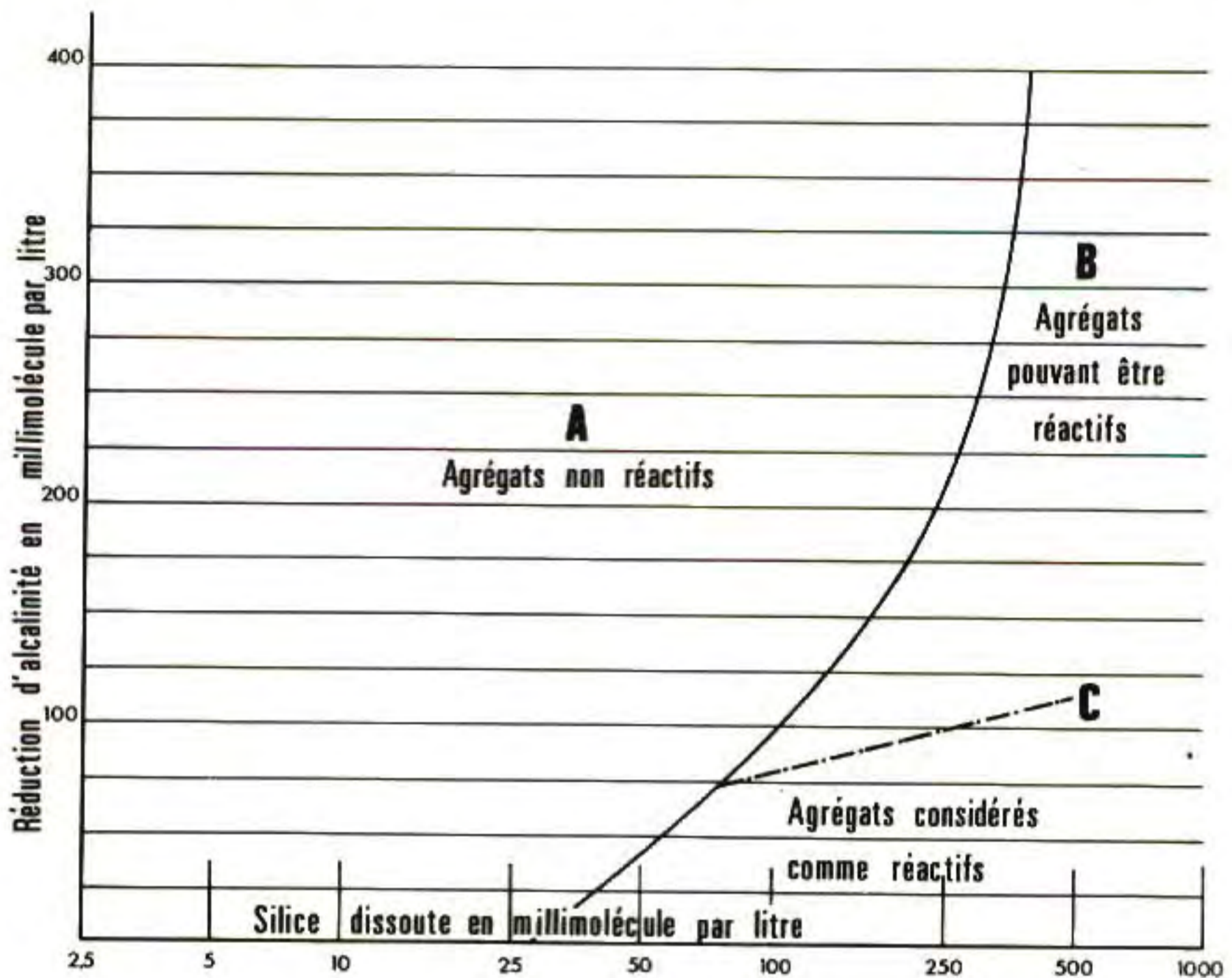


FIG. 18. — Courbes délimitant la réactivité ou la non-réactivité des granulats (suivant ASTM).

Les essais de base sont pratiquement identiques à ceux destinés aux granulats naturels. On notera cependant l'importance des mesures d'absorption d'eau.

La granularité est souvent peu étalée et la forme des grains est plus arrondie que celle des granulats naturels.

Leur masse volumique, celle des grains, est de l'ordre de 1 à l'état sec pour des granulats destinés au béton de structure. Rappelons que la masse volumique des granulats naturels est de 2,6 environ.

Concernant toutes les caractéristiques de ces granulats ainsi que celles des bétons obtenus, on se reportera utilement à un ouvrage spécialement rédigé à cet effet [12].

2.3.1. Adhérence

Malgré une dureté des granulats bien inférieure à celle des granulats naturels, la résistance à la compression des bétons de granulats légers est très satisfaisante. La très bonne adhérence de la pâte de ciment aux granulats légers en est la raison essentielle.

2.4. Futur fascicule 23 - Spécifications

Dans le cadre du futur fascicule 23 concernant les granulats pour le béton de Génie Civil, le Ministère de l'Équipement (Ponts-et-Chaussées) propose des spécifications avec trois niveaux de valeurs pour les principales caractéristiques des granulats.

Dans les tableaux XV et XVI relatifs aux granulats gros et moyens, ainsi qu'aux sables, sont résumées les spécifications suivant les niveaux *A*, *B* et *C*.

- A* : béton exceptionnel,
- B* : béton de qualité,
- C* : béton courant.

TABLEAU XV — Spécifications pour les granulats gros et moyens (projet Fascicule 23)

Caractéristique Granulats gros et moyens	Niveau de valeur		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>Nature géologique :</i>			
Granularité	<i>D</i> et <i>d</i> conformes à	NF P 18 304	
passant à 1,25 <i>D</i>	100 %	100 %	100 %
refus à <i>D</i>	10 %	15 %	15 %
refus à <i>D</i> + <i>d</i> /2	entre 1/3 et 2/3	entre 1/3 et 2/3	
passant à <i>d</i>	10 %	15 %	15 %
passant à 0,63 <i>d</i>	2 %	2 %	2 %
Angularité	roulé ou concassé	roulé ou concassé	roulé ou concassé
Forme (coef. d'aplatissement)	≤ 20	≤ 25	≤ 30
Teneurs en matières organiques et sels solubles	NF P 18 304	NF P 18 304	NF P 18 304
Propreté	passant à 0,5 mm	2 % et IP non mesurable	
Coef. Los Angeles	≤ 35	≤ 40	≤ 45
Porosité	≤ 10 %	≤ 11 %	≤ 13 %
Gélivité	< 40	< 40	< 40
Homogénéité en qualité	3 %	5 %	10 %

TABLEAU XVI — Spécifications pour les sables (projet Fascicule 23)

Caractéristique Sables	Niveau de mer		
	A	B	C
Nature géologique :	—	—	—
Granularité	$D \leq 5 \text{ mm}$	$D \leq 5 \text{ mm}$	$D \leq 5 \text{ mm}$
Variation du module de finesse	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$
Angularité	roulé ou concassé	roulé ou concassé	roulé ou concassé
Teneurs en matières organiques et sels solubles	Norme NF P 18 304		
Équivalent de sable.	E.S. ≥ 80	E.S. ≥ 75	E.S. ≥ 65
et teneur en fine f	$f \leq 6 \%$	$f \leq 8 \%$	$f \leq 10 \%$
Friabilité	≤ 20	≤ 25	≤ 30

3. L'EAU DE GACHAGE

Il existe très peu de spécifications dans les règles et normes françaises concernant la qualité et le contrôle de l'eau de gâchage. La norme NF P 18 303 indique simplement que l'eau doit être propre et rester dans les tolérances du tableau XVII, en ce qui concerne les matières en suspension et les sels.

TABLEAU XVII — Tolérances pour les teneurs de matières en suspension et de sels dans l'eau de gâchage (NF P 18 301)

Quantités maximales de	Béton	
	A et B	C
Matières en suspension	2 g/l	5 g/l
Sels dissous *	15 g/l	30 g/l

Béton A : hautes qualités à forte résistance.

Béton B : grande imperméabilité.

Béton C : courant peu ou non armé.

* Les valeurs indiquées (NF P 18 303) sont beaucoup trop élevées.

Les sels dissous ne doivent pas nuire à la conservation des bétons (acides, sulfates, matières organiques...).

Mais tout ceci est finalement assez vague et seule, une étude de compatibilité avec le ciment employé et la destination de l'ouvrage, pourra ren-

seigner valablement. Une analyse chimique préalable est bien entendu nécessaire en cas de doute.

Les tolérances de la Norme sont beaucoup trop larges. Le fascicule 65 précise que l'eau de gâchage ne doit pas contenir plus de 2 g de sel dissous par litre, ce qui interdit évidemment l'emploi de l'eau de mer.

3.1. Gâchage à l'eau de mer

Il n'est pas impossible de gâcher le béton à l'eau de mer pour certains bétons armés car la quantité de chlorure de sodium ne dépassera guère 5 kg par mètre cube de béton. Mais d'autres raisons supplémentaires peuvent amener à renoncer au bétonnage à l'eau de mer, comme par exemple, le lavage des granulats à l'eau de mer, l'emploi d'un ciment trop riche en aluminate tricalcique, etc.

Pour bétonner à l'eau de mer, il est donc nécessaire de prendre en considération tous les éléments et de les confier à un laboratoire spécialisé pour une étude préalable.

Ce type d'étude est devenu assez courant aujourd'hui pour les ouvrages réalisés au Moyen-Orient quand l'eau potable fait défaut.

4. LES ADJUVANTS (NF P 18 103)

Il s'agit des plastifiants, entraîneurs d'air, accélérateurs, retardateurs, hydrofuges, antigels... Ajoutés en faible proportion au bétonnage (en général inférieure à 5 % du poids de ciment) ils confèrent au béton des qualités particulières ou améliorent certaines caractéristiques.

Les plus employés sont les produits réducteurs d'eau. Du fait de la réduction d'eau sans diminution de la consistance, les bétons ainsi adjuvantés ont une compacité supérieure. Il en découle des résistances plus élevées, une imperméabilité et une résistance au gel plus grandes également.

Il existe suffisamment d'adjuvants agréés par la C.O.P.L.A. (1) pour trouver dans la liste de ceux-ci, celui qui convient le mieux au cas considéré. En premier lieu, on choisira donc des produits connus.

En second lieu, on s'emploiera au contrôle strict du dosage des produits incorporés au béton. Qu'il s'agisse de dosage volumétrique ou de dosage pondéral, la surveillance du matériel de dosage des adjuvants est primordiale pour éviter des ennuis.

(1) Commission Permanente des Liants et des Adjuvants des mortiers et bétons.

4.1. Agrément des adjuvants

C'est dans le but de vérifier les caractéristiques annoncées et de les contrôler que l'agrément ministériel a été mis sur pied. La C.O.P.L.A. est chargée d'instruire les demandes d'agrément émanant des fabricants.

Après présentation de références techniques par le fournisseur concernant des essais en laboratoire ou sur chantier, des essais sont réalisés au L.C.P.C. (Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées), au C.E.B.T.P. (Centre Expérimental de Recherche et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics) et au C.E.R.I.L.H. (Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques).

Un bulletin officiel paraît tous les ans avec les mises à jour.

Parmi les adjuvants répondant à la définition de la norme P 18 103, seuls sont visés par l'agrément les produits dont les fonctions sont énumérées à l'article 4.1. du bulletin officiel, à l'exclusion notamment des produits à base de chlorure relevant du D.T.U. n° 21.4 qui font l'objet d'une liste émanant de la C.O.P.L.A.

4.2. Les fluidifiants

Une nouvelle classe d'adjuvants est apparue sur le marché. Parfois désignés superfluidifiants, ces produits augmentent notablement la plasticité des bétons. Le produit, ajouté au moment de l'emploi, permet d'obtenir un béton dont la fluidité est suffisante pour que la mise en œuvre puisse se faire pratiquement sans vibration.

Ils peuvent être employés comme réducteur d'eau à dose plus faible ; l'incorporation ayant lieu dans ce cas à la fin du malaxage.

Leur emploi est subordonné à l'accord préalable du président de la C.O.P.L.A.

CHAPITRE 5

CONTRÔLE ET ESSAIS DU BÉTON FRAIS

C'est au niveau de sa fabrication que doit porter toute l'attention des responsables du béton. Hormis sa mise en œuvre proprement dite et sa conservation, c'est à la fabrication elle-même que se joue pour une grande part la qualité du béton.

Nous ne reviendrons pas sur la nature et la qualité des constituants qui doivent, comme nous l'avons vu, faire l'objet d'un choix et d'une surveillance rigoureux.

1. VÉRIFICATION RAPIDE DE LA COMPOSITION

Qu'il s'agisse de dosage volumétrique (volume apparent) ou de dosage pondéral (pesées), il est assez facile de vérifier si la composition retenue est bien réalisée. Il s'agit surtout de s'assurer que les différents composants sont ajoutés dans les proportions voulues.

1.1. Dosage volumétrique

Quand les gâchées sont préparées à partir de volumes apparents (pelletées, brouettées...), on utilise souvent des règles simples de composition telle que la règle des « deux brouettes pour une » correspondant au dosage « 800/400 », c'est-à-dire 800 litres de gravier et 400 litres de sable par mètre cube de béton.

La gâchée est composée dans ce cas de deux brouettées de gravier et d'une brouettée de sable pour un sac de ciment. Il est bien entendu que cette façon d'opérer, assez connue, peut donner et donne dans de nombreux cas, des résultats acceptables. Mais le rapport $\frac{\text{gravier}}{\text{sable}}$ ainsi obtenu est élevé pour une bonne maniabilité du béton.

Par ailleurs, en considérant la diversité des récipients, la façon de les remplir et le foisonnement du sable en fonction de l'humidité, l'on se rend compte facilement que le dosage réel en ciment varie dans des proportions non négligeables.

La méthode de vérification consiste ici en la mesure exacte du volume à l'aide de récipients de volume connu, à faire des repères dans les brouettes, puis d'araser à la règle si nécessaire.

La vérification pour une gâchée peut se faire à l'aide de pesées des constituants en mesurant également la quantité d'eau apportée par les granulats.

Exemple de détermination du rendement d'une composition de béton :

Considérons une composition de béton du type 800/400 avec 300 kg de ciment par mètre cube :

Gravier 5/16	:	800 l
Sable moyen	:	400 l
Ciment	:	300 kg
Eau	:	161 l

Transformons cette composition en poids. Il faut pour cela connaître les masses volumiques apparentes des granulats soit :

Gravier 5/16	:	1 540 kg/m ³
Sable moyen	:	1 490 kg/m ³

La composition, donnée en poids sera donc la suivante :

Gravier 5/16	:	$0,8 \times 1\,540 = 1\,232$	kg
Sable moyen	:	$0,4 \times 1\,490 = 596$	kg
Ciment	:	=	300 kg
Eau	:	=	161 kg
Total	:		<u>2 289</u> kg

Supposons que dans l'exemple donné ci-dessus la masse volumique du béton frais soit de 2 370 kg/m³.

Le volume de béton réalisé avec cette composition sera de :

$$\frac{2\,289}{2\,370} = 0,965 \text{ m}^3$$

Le béton ne « fait pas le mètre cube » ; il y a donc surdosage en ciment. On peut dès lors calculer la composition exacte qui doit donner un mètre cube de béton frais en place :

Gravier	:	1 232	:	0,965	=	1 277 kg/m ³	ou	830 l/m ³
Sable moyen	:	596	:	0,965	=	617 kg/m ³	ou	415 l/m ³
Ciment	:	300	:	0,965	=	311 kg/m ³		
Eau	:	161	:	0,965	=	167 kg/m ³	ou	167 l/m ³ (théoriquement)
						<u>2 372 kg/m³</u>		

Il faut insister sur la grande importance du foisonnement du sable en fonction de sa teneur en eau et de sa granularité. Le foisonnement peut atteindre 40 % (fig. 19, 20 et 21). Le dosage réel en ciment est alors très diminué par rapport à un sable plus sec avec lequel l'étude de composition a été réalisée.

Le mode de remplissage des récipients (skip, brouette, dumper...) a une grande importance aussi sur le dosage en sable et par là même, sur le dosage en ciment.

C'est ce qui explique l'allure différente des courbes de foisonnement représentées sur les figures. C'est vraisemblablement le mode de remplissage et le tassement du sable au laboratoire qui sont la cause de cette variation différente au-delà d'un certain pourcentage d'eau entre deux laboratoires.

Des abaques pour dosage volumétrique sont proposés par G. Dreux [1]. Un des abaques est représenté sur la figure 22 pour D = 25 mm.

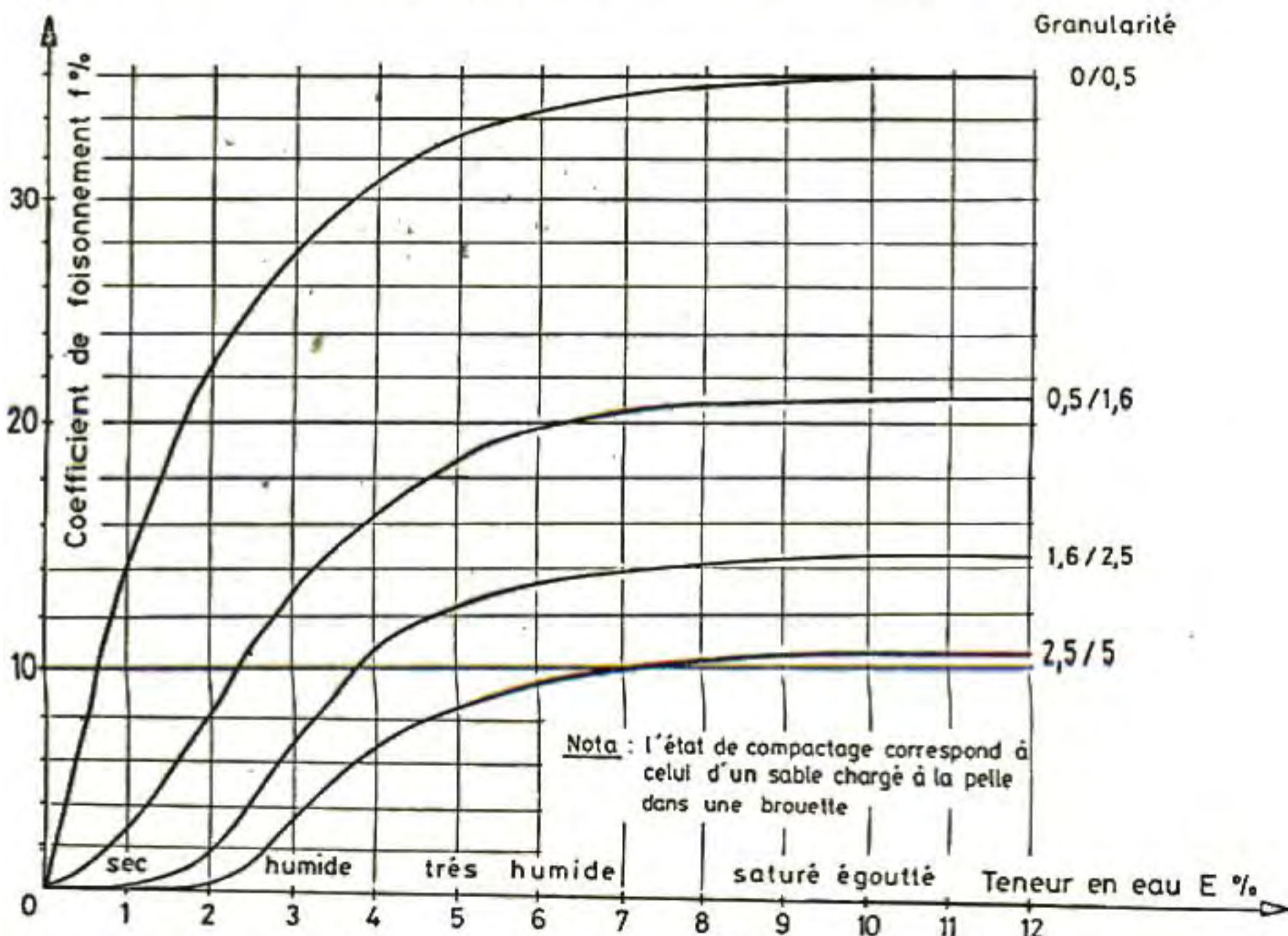


FIG. 19. — Foisonnement du sable en fonction de sa teneur en eau pour des classes granulaires différentes. <https://www.gcalgerie.com/>

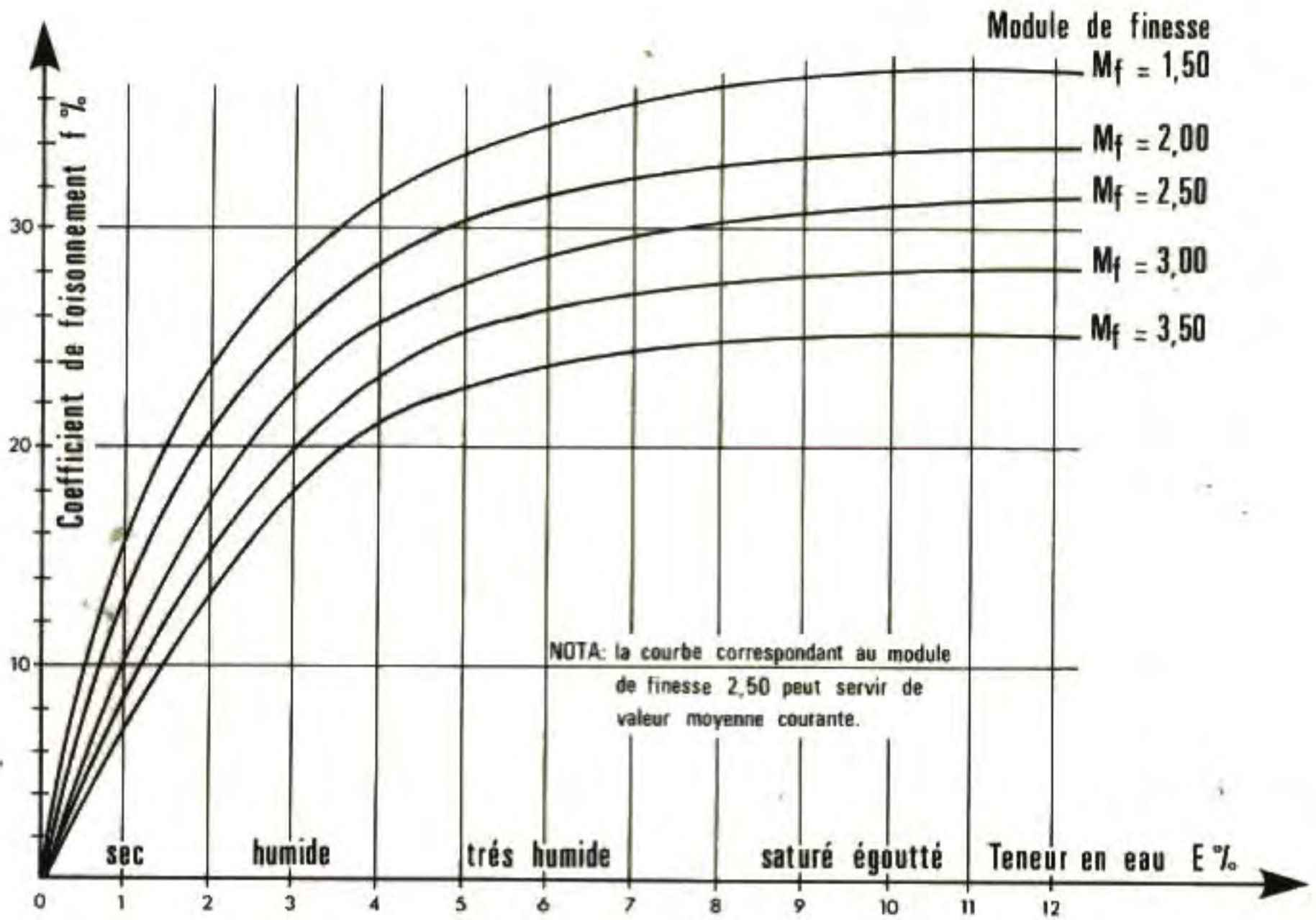


FIG. 20. — Foisonnement d'un sable 0/5 en fonction de sa teneur en eau pour des finesses différentes.

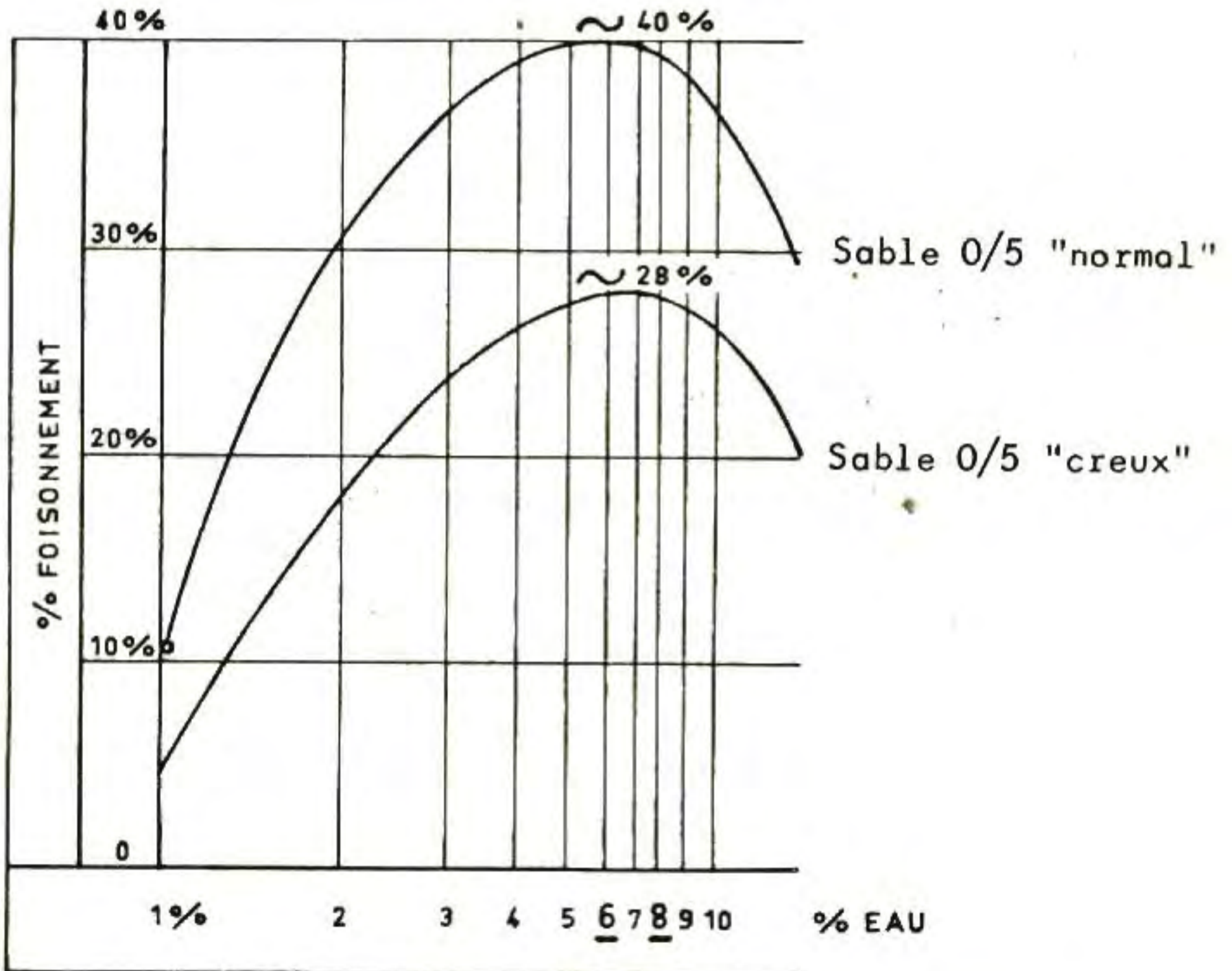


FIG. 21. — Foisonnement de deux sables déterminé vraisemblablement avec un mode de tassement différent (selon l'U.N.M.).

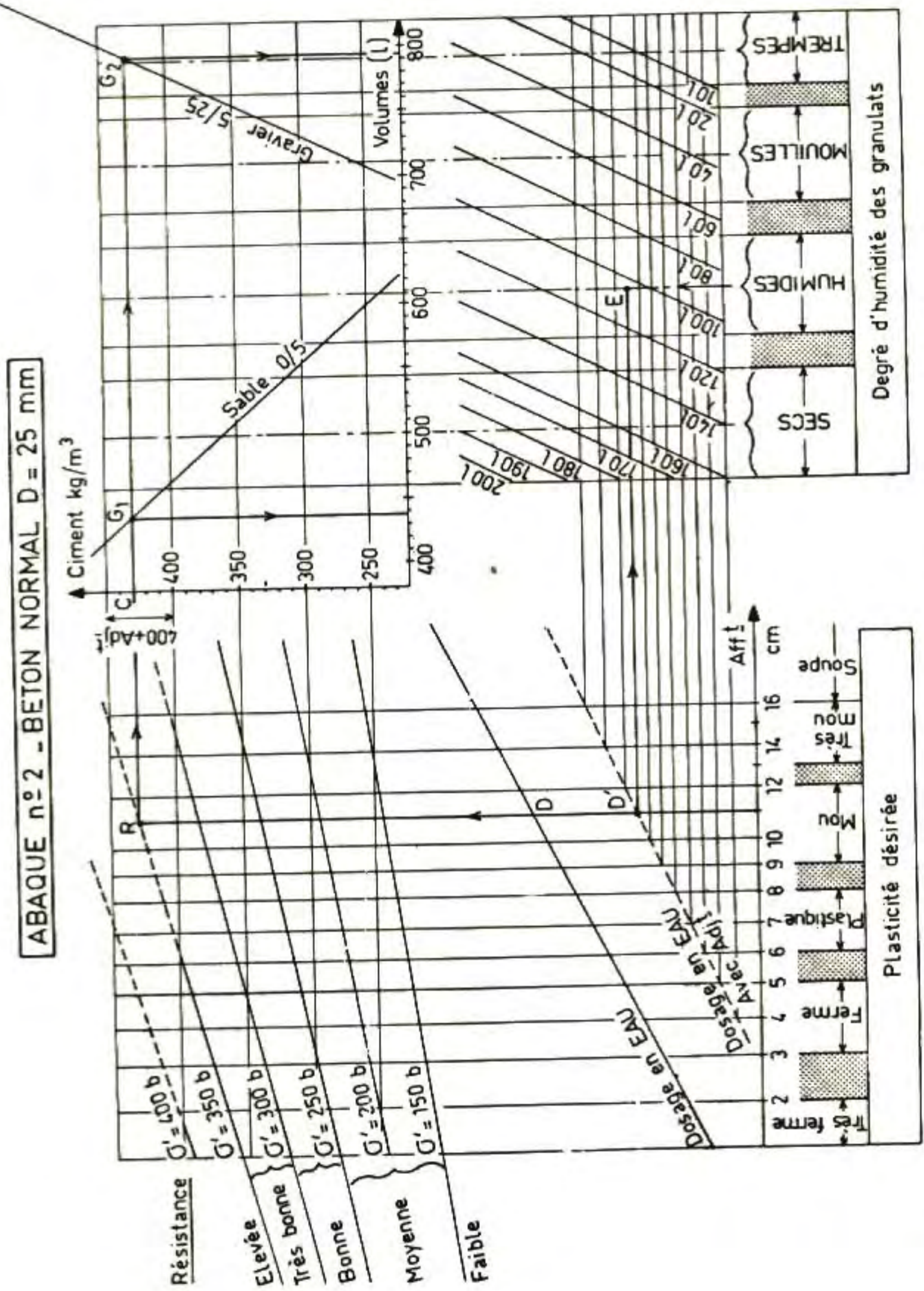


FIG. 22. — Aboque pour la détermination rapide de la composition volumétrique des bétons d'usage courant.

1.2. Dosage pondéral

De plus en plus le béton est fabriqué à partir de la pesée de ses divers constituants. Les usines de béton prêt à l'emploi ainsi que les centrales pour chantiers importants, sont équipées de balances précises. Mais la détermination de la teneur en eau des granulats demeure bien entendu, nécessaire.

Trois vérifications simples permettent de se rendre compte rapidement si la composition pour un mètre cube est satisfaisante et si, en particulier, le dosage en ciment à partir des pesées pour une gâchée est correct :

A) Le poids de ciment réellement pesé pour la gâchée.

B) Le poids total des granulats. Pour le béton traditionnel confectionné avec des granulats naturels de masse volumique moyenne courante (2,5 à 2,6 g/cm³), le poids total du gravier et du sable secs doit être voisin de 1 800 kg/m³ pour un béton dosé à 350 kg de ciment.

Le rapport $\frac{\text{poids de gravier}}{\text{poids de sable}}$ pour ce même béton doit osciller entre 1,2 et 1,7 suivant la dimension du granulats et le mode de mise en œuvre (grande masse, coffrages élancés, armatures, pompage...).

C) La quantité d'eau totale qui comprend l'eau ajoutée à la bétonnière et l'eau apportée par les granulats.

La somme des poids des trois constituants A, B et C doit donner le poids du béton frais. Pour un béton traditionnel, le poids total doit être d'environ 2 350 kg/m³ (ciment : 350 kg ; granulats : 1 800 kg ; eau : 200 kg).

Mais ces petites vérifications rapides et immédiates ne peuvent en aucun cas se substituer à un contrôle continu de la constance de la composition déterminée préalablement et adaptée aux différentes parties d'ouvrage. L'étude de la composition optimale ainsi que les essais pratiques qui l'accompagnent ont fait l'objet de bien des méthodes. On consultera cependant avec intérêt l'ouvrage de G. Dreux à ce sujet, chapitres 3, 4 et 5 [1].

2. MALAXAGE

L'efficacité de malaxage est importante ; elle dépend du type de mélangeur employé et du temps consacré au mélange lui-même.

Le temps de malaxage varie en moyenne de 45 s pour les malaxeurs efficaces à 2, 3 ou 4 min pour les bétonnières traditionnelles à axe incliné.

Il importe dans tous les cas que les constituants soient intimement mélangés, surtout les grains de ciment à l'eau afin de faciliter leur hydratation et d'obtenir une meilleure maniabilité.

Le contrôle consistera donc à s'assurer que le temps minimal requis de malaxage est bien observé et que dans tous les cas, le mélange soit homogénéisé au maximum. On surveillera l'usure des différents éléments de malaxage [13].

3. VÉRIFICATION DE LA CONSISTANCE ET DE LA MANIABILITÉ

Il s'agit là, de la partie essentielle dans l'ensemble du contrôle du béton.

En effet, une bonne maniabilité procure à la fois une garantie de mise en œuvre satisfaisante et une garantie de qualité du béton durci par la maîtrise du dosage en eau.

La corrélation entre la consistance et la résistance pour une même fabrication, est souvent très bonne. Pour 12 prélèvements réalisés lors d'une journée de bétonnage sur un chantier de bâtiment, des éprouvettes d'information et de contrôle ont été rompues à 28 jours d'âge (dispersion du genre III, cf. § 2.2).

Des mesures de consistance au cône d'Abrams ont été effectuées sur chaque prélèvement.

La corrélation constatée sur la figure 23 pour les 12 prélèvements (A à L) entre l'affaissement au cône et la résistance est assez nette [22].

Le haut de la figure 24 représente la baisse de résistance constatée par ajouts d'eau successifs à partir d'un béton initial très ferme.

Rappelons tout d'abord, les facteurs principaux influençant la maniabilité :

- granulométrie, surtout pour les éléments fins,
- angularité des constituants ; granulats concassés ou non,
- dosage en ciment,
- emploi d'un plastifiant,
- dosage en eau...

Nous nous intéressons ici au contrôle du béton frais, à sa sortie du mélangeur et, de ce fait, c'est sur le dernier point concernant le dosage en eau qu'il est encore possible d'agir. On pense d'ailleurs à tort, trop souvent, que c'est le seul paramètre dont on dispose pour obtenir la meilleure maniabilité du béton.

La fluidité augmente avec le dosage en eau, mais pas la maniabilité ; avec une trop grande quantité d'eau, le pouvoir « moulant » du béton diminue également. A l'opposé, avec un béton trop sec, le remplissage des coffrages et l'enrobage des armatures sont mauvais.

En conclusion, il y a une consistance optimale à déterminer et à *maintenir constante* pendant toute la durée du bétonnage.

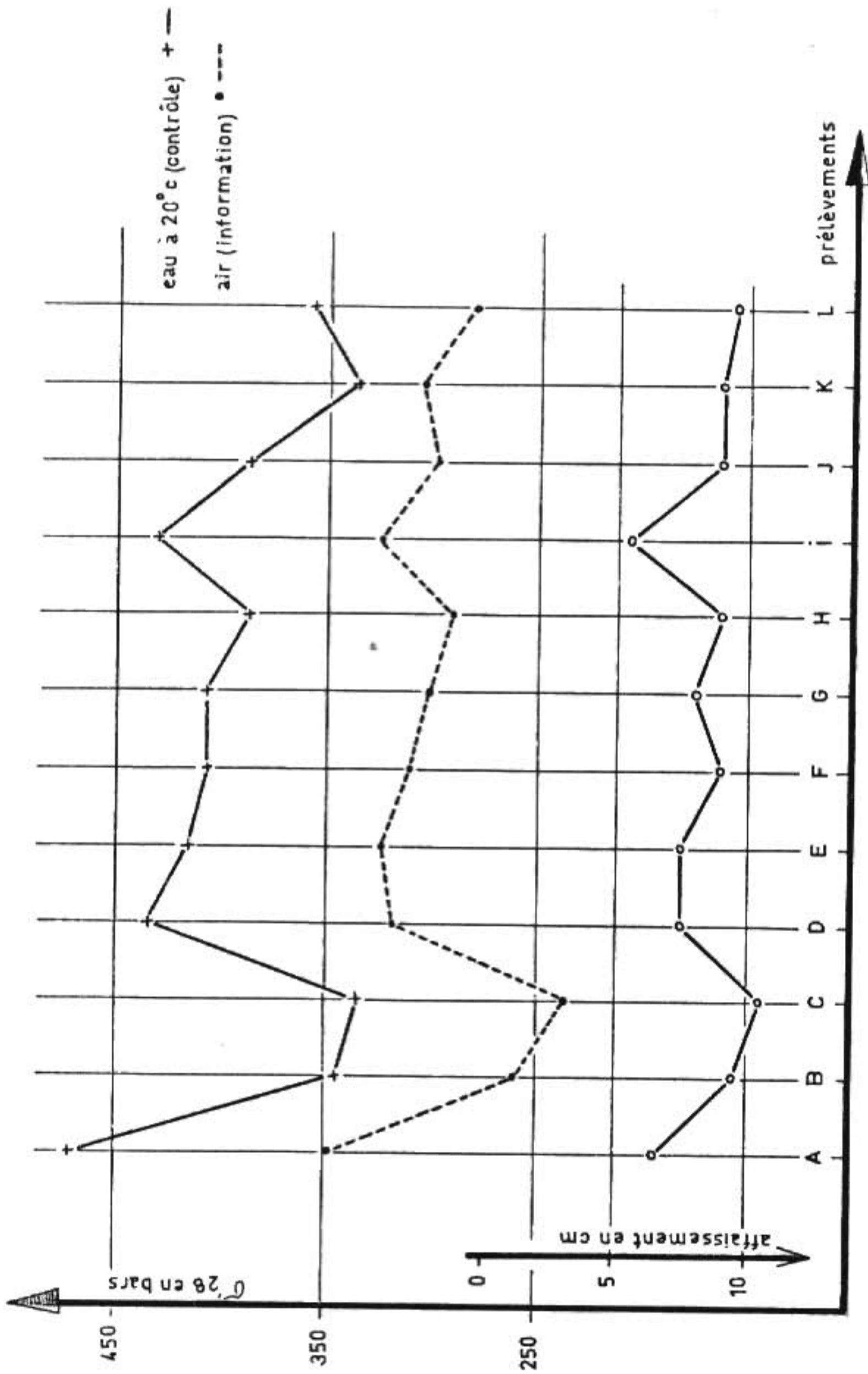


FIG. 23. — Variation de la consistance (affaissement) et de la résistance pour 12 prélèvements effectués dans une journée.
La corrélation est bonne.

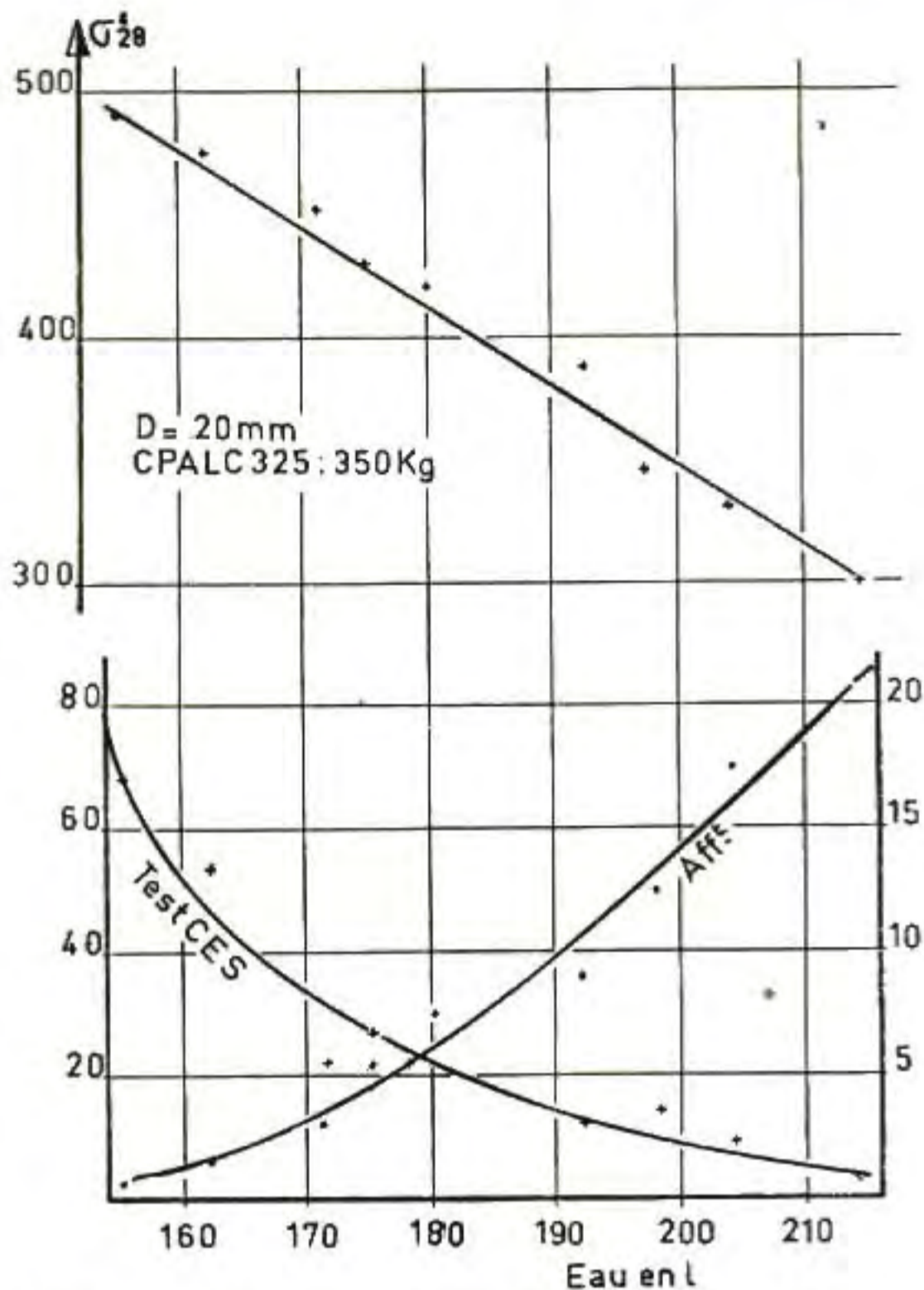


FIG. 24. — Variation de la consistance et de la résistance en fonction du dosage en eau.

3.1. Mesure de la consistance et de la maniabilité

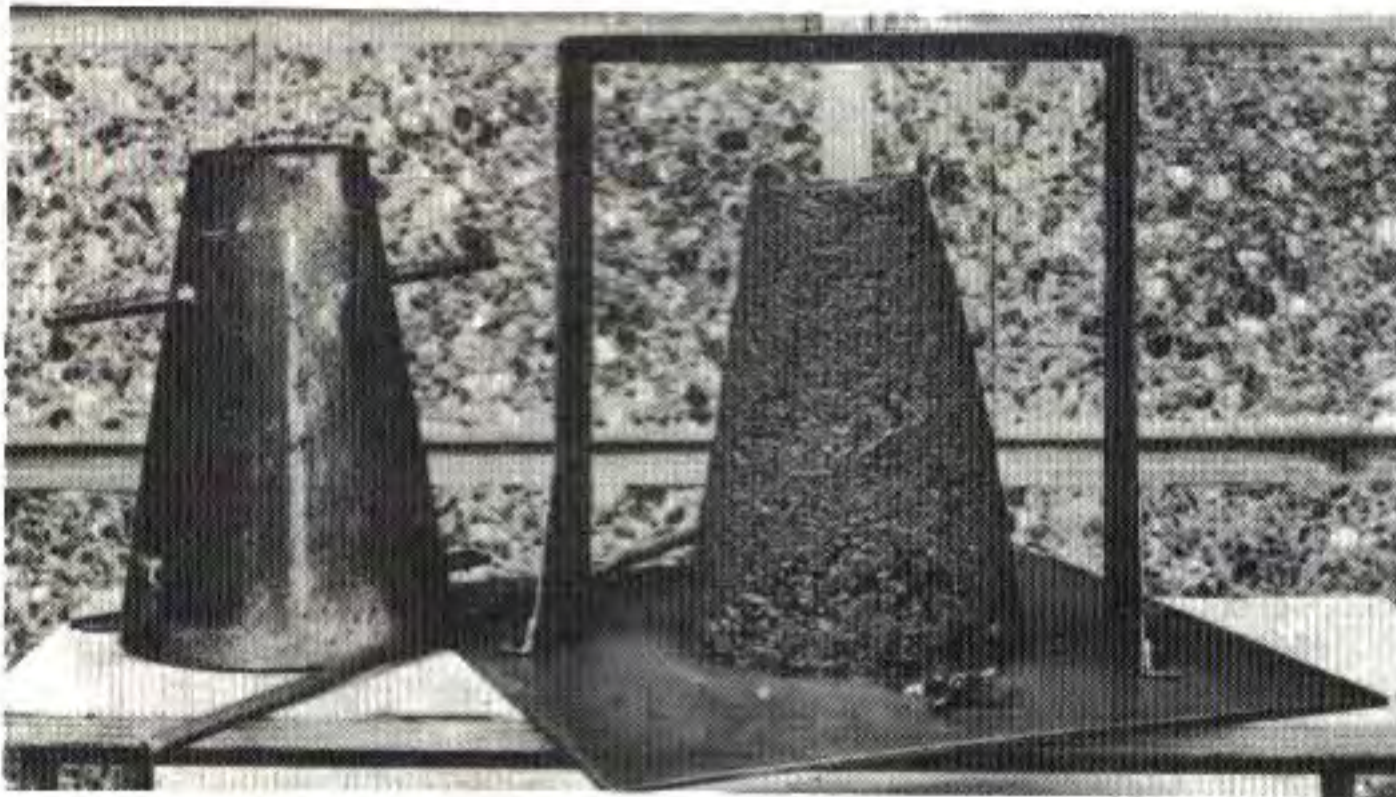
Nous nous contenterons volontairement d'indiquer quelques types de mesure, les plus couramment employés aujourd'hui. Une énumération complète de tous les dispositifs de mesure de la consistance du béton frais, serait contraire au but recherché dans ce guide.

Il importe surtout d'être décidé à réaliser quelques essais pour s'assurer d'une bonne maniabilité et de sa régularité, même si les méthodes employées ne sont pas des plus sensibles et des plus significatives.

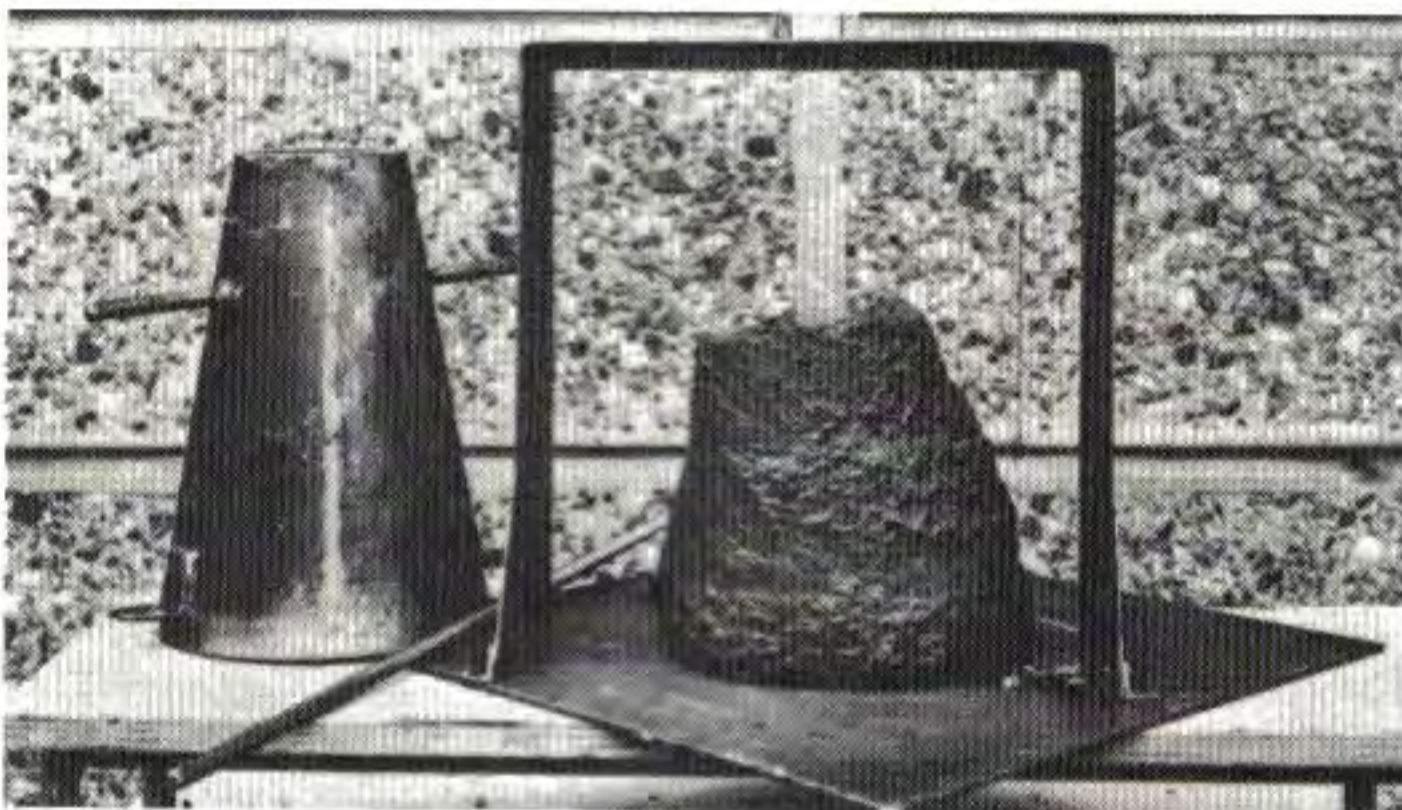
3.1.1. Affaissement au cône d'Abrams ou slump-test (NF P 18 451)

C'est de loin la mesure de consistance la plus employée et la plus connue universellement. C'est un essai essentiellement statique et assez limité dans sa plage de mesure pour les bétons très secs et pour les bétons très fluides.

On remplit en quatre couches (peut-être trois dans la norme révisée), piquées chacune de 25 coups de pique \varnothing 16 mm, un moule tronconique en tôle (D : 20 cm ; d : 10 cm ; h = 30 cm) (fig. 25).



Béton
très ferme



Béton
plastique

FIG. 25.

Le moule est retiré lentement et la mesure de l'affaissement est réalisée.

La valeur de l'affaissement est exprimée en centimètres. A titre indicatif, avec un béton dont la composition doit procurer la meilleure maniabilité, l'affaissement au cône sera de 8 à 12 cm pour du béton vibré destiné au bâtiment courant.

Un tel béton permet un remplissage et un enrobage corrects tout en garantissant un dosage en eau raisonnable.

3.1.2. Maniabilité au maniabilimètre L.C.P.C.

Conçu initialement pour optimiser le rapport $\frac{\text{sable}}{\text{sable} + \text{gravier}}$ dans la

composition des bétons, il est utilisé de nos jours dans le contrôle du béton des ouvrages d'art et du béton de route.

Il se compose d'un bac métallique assez massif sur lequel est fixé un vibreur. Le volume de 30 litres de béton placé dans le bac est mis en vibration et la maniabilité est donnée par le temps d'écoulement nécessaire pour atteindre un certain repère. Plus le temps est court, plus le béton est maniable (fig. 26).

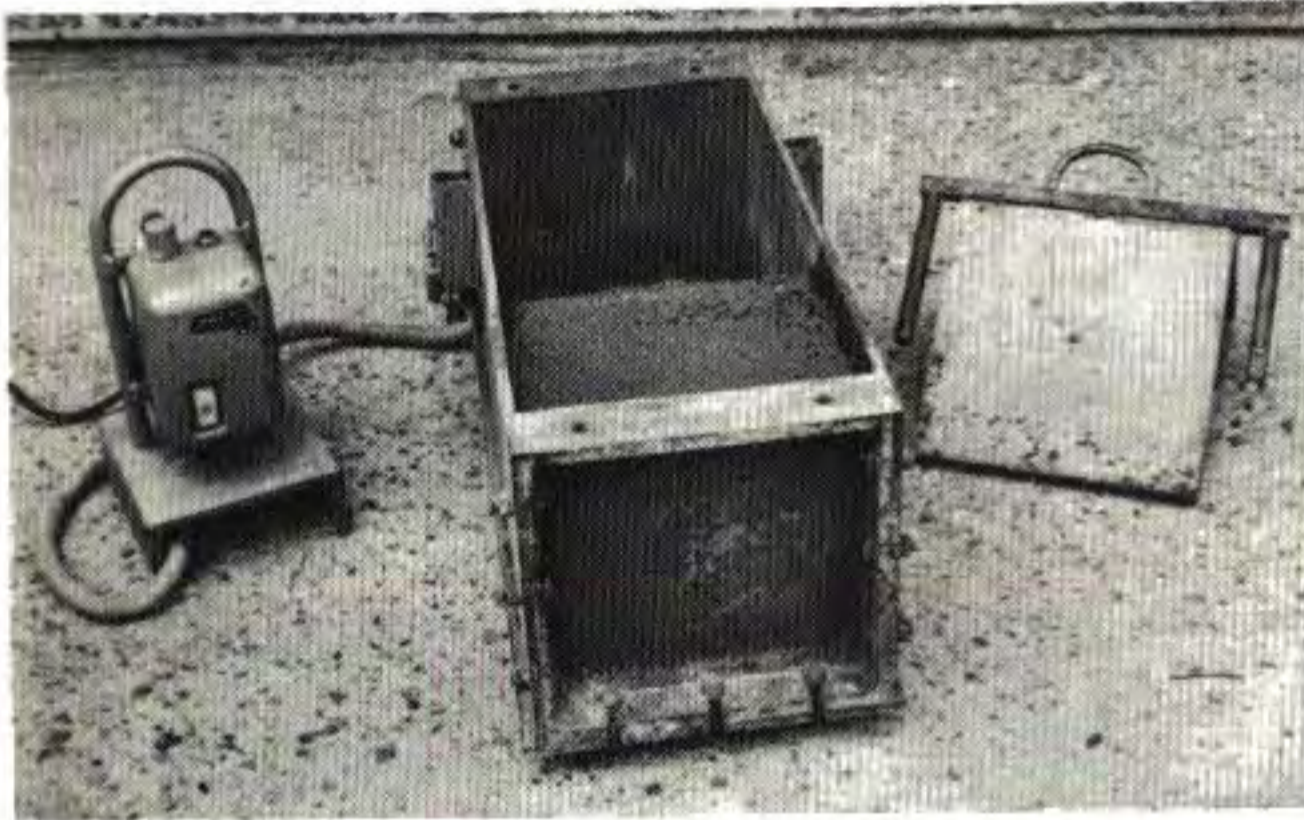


FIG. 26. — Maniabilimètre L.C.P.C.

3.1.3. Divers appareils

A titre indicatif, citons deux appareils simples :

— Le test C.E.S. qui consiste à déterminer le nombre de chocs nécessaires à l'obtention d'un parement satisfaisant sur une face vitrée d'un cube. Le béton doit pénétrer dans une grille d'armature (fig. 27) au fur et à mesure des chocs subits par le cube placé sur une table à chocs (table à secousses du flow-test).

— Le plasticimètre INDUMAT, portatif et utilisable à tout moment de la fabrication.

C'est un indice de cisaillement qui est déterminé grâce à des palettes plongées dans le béton frais. Le mouvement rotatif est obtenu par l'intermédiaire d'un ressort taré (fig. 28).

A titre indicatif, le tableau XVIII donne une relation entre divers essais de consistance et de maniabilité. Il n'est bien entendu qu'indicatif puisque la maniabilité change suivant plusieurs paramètres (angularité, dosage en ciment...) pour un même affaissement au cône.

L'étalement à la table à secousse (flow-test) est un essai intéressant également puisqu'il fait intervenir des chocs et produit ainsi un étalement du béton.

Dans le tableau XIX sont rassemblés les différents procédés de mesure de la consistance et de la maniabilité [13].

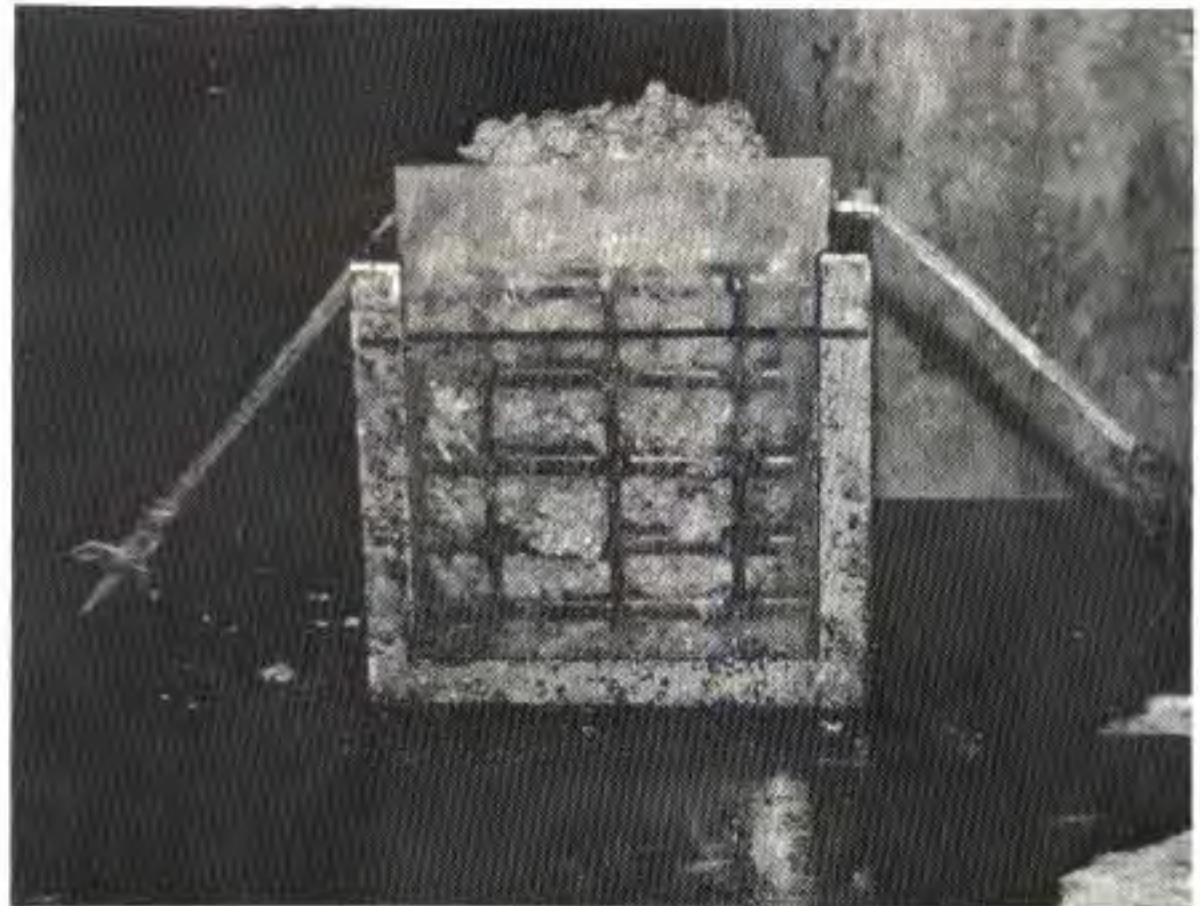


FIG. 27. — Cube pour le test C.E.S. avant les chocs.

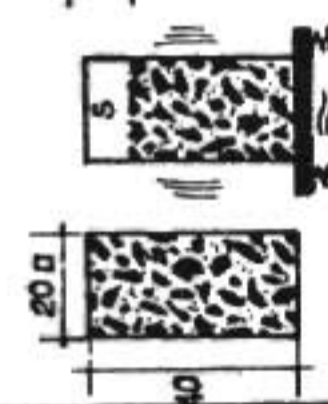
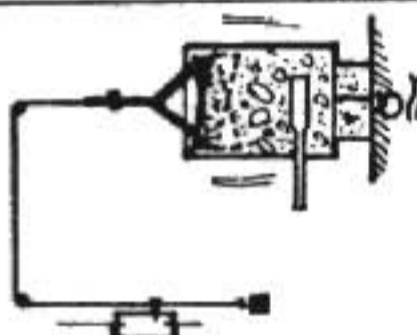
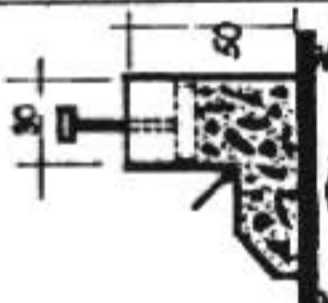
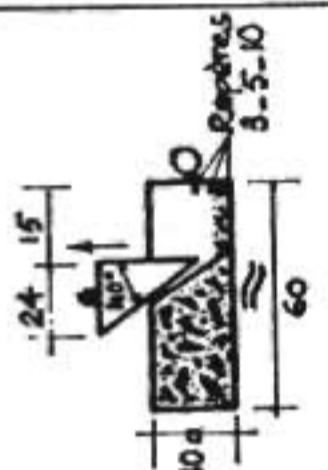
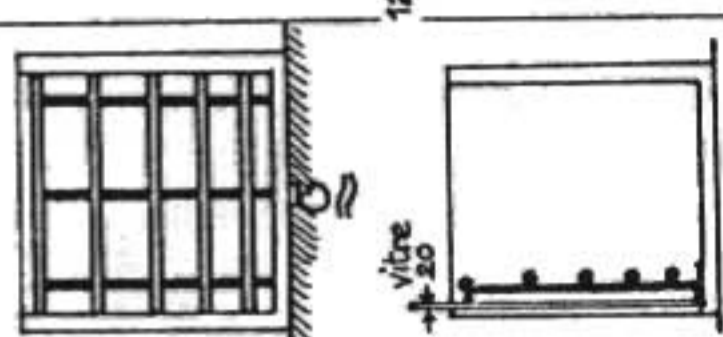
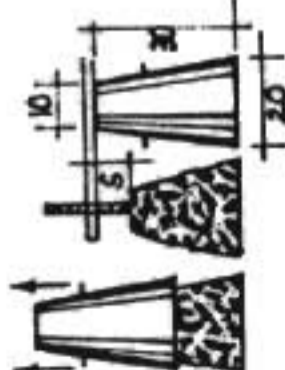
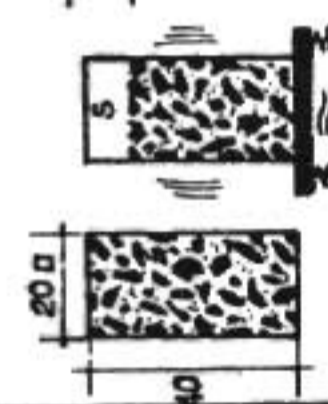
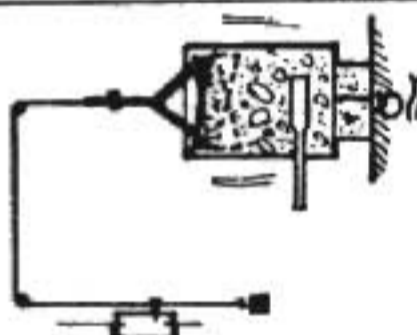
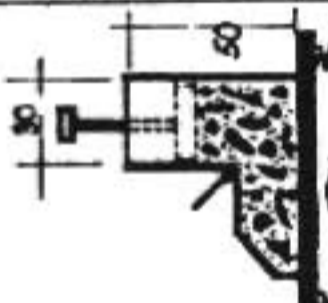
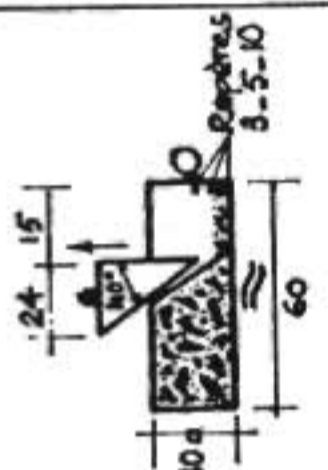
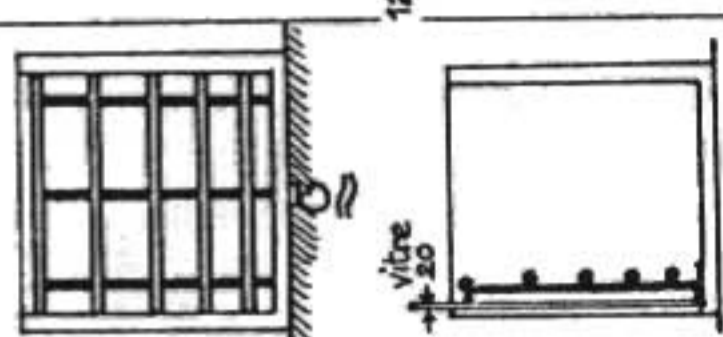


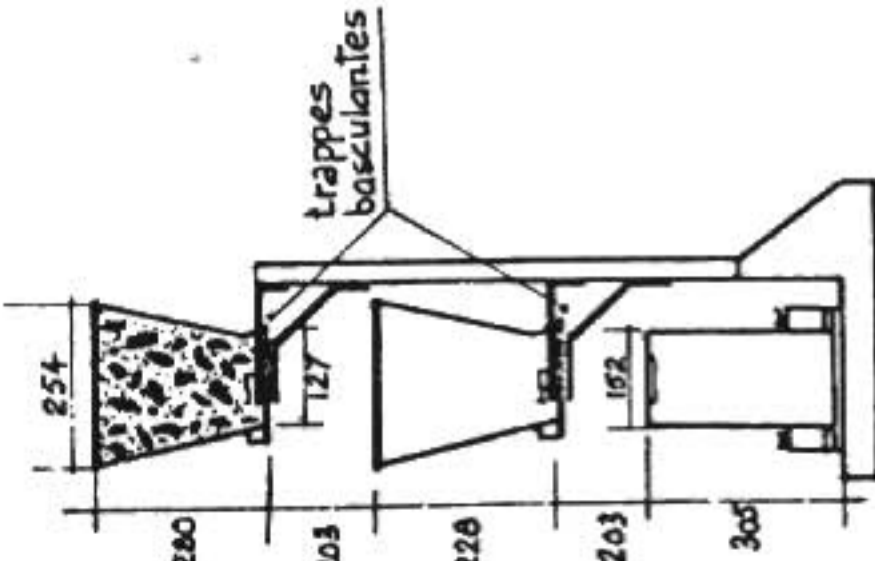
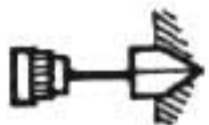
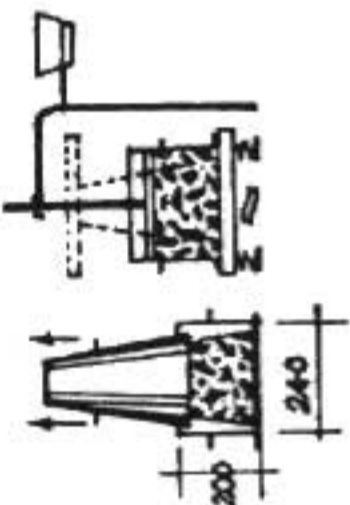
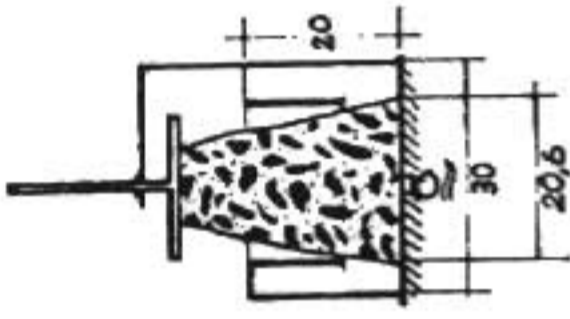
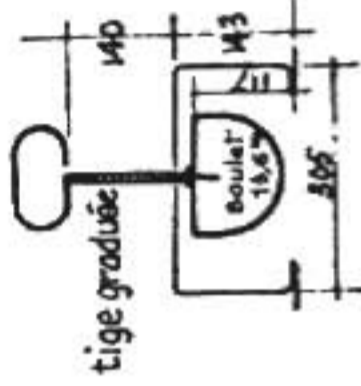
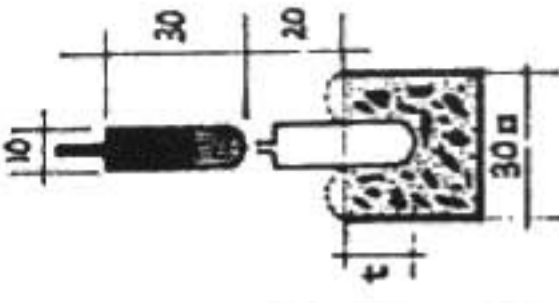
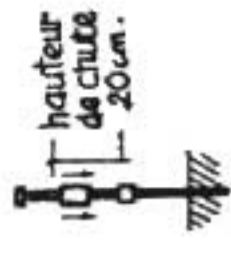
FIG. 28. — Plasticimètre INDUMAT avant enfoncement et rotation

TABLEAU XVIII — Correspondance entre différentes valeurs de consistance et de maniabilité

<i>Consistance</i>	<i>Affaissement en cm</i>	<i>Étalement à la table à secousse %</i>	<i>Nombre de secousses au test C.E.S.</i>	<i>Temps d'écoulement au maniabilimètre sec</i>
FERME	1 à 4	20 à 50	70 à 30	> 25
PLASTIQUE	5 à 9	50 à 70	30 à 15	5 à 25
MOLLE	10 à 15	70 à 100	15 à 5	} suivant angularité granularité, dosage en ciment
LIQUIDE	≥ 16	100 à 160	< 5	

TABLEAU XIX — Différents procédés de mesure de consistance et de maniabilité

		<i>Essais de serrage, d'écoulement et d'étalement</i>				
<i>Catégorie d'essai</i>	<i>Essai d'affaissement</i>					
<i>Schema de l'appareillage</i>						
<i>Désignation de l'essai</i>	Affaissement au Cône d'Abrams	Degré de serrage au Vase de Walz	Degré de tassement sous charge à l'appareil de Fritsch	Temps d'écoulement au plastique-mètre de Meyer-Orth	Temps d'écoulement au maniabilimètre de Lesage-L.C.P.C.	Temps d'écoulement du béton dans le moule C.E.S. placé sur la table du Flow-Test
<i>La mesure porte sur :</i>	l'affaissement de Scm après avoir retiré le Cône. (NF P 18 451 et Recommandations RILEM C.P.C. 2.1 de novembre 75).	le degré de serrage est obtenu en faisant le rapport des hauteurs (béton non tassé et même béton après vibration. DIN 1048.)	le degré de tassement sous charge. Les résultats sont en rapport avec l'essai de Walz.	le temps (s) mis par le béton pour s'écouler dans la goulotte pour que la tige graduée atteigne une certaine valeur.	le temps (s) nécessaire au béton pour s'écouler après départ de la trappe pour atteindre un niveau repéré à l'autre extrémité du moule.	le nombre de secousses nécessaires pour que le parement derrière la vitre soit bien rempli par le béton placé derrière un ferrailage-type.
<i>Nature de l'essai</i>	Statique	Dynamique	Dynamique	Dynamique	Dynamique	Dynamique
<i>Utilisable sur chantier ou en laboratoire</i>	Chantier	Laboratoire	Laboratoire	Laboratoire	Laboratoire et gros chantiers	Laboratoire et chantier

Essai de compacité (aptitude au serrage)	Essai de cisaillement	Essais de moulage ou de remoulage	Essais de pénétration
 <p>Degré de compacité au consistomètre de Gleanville</p>	 <p>Indice de viscosité ou de cisaillement au plasticimètre à palettes (Indumat)</p>	 <p>Temps de remoulage au consistomètre Vebe-Bährer</p>	 <p>Effort de remoulage à l'appareil de Powers</p>
<p>le degré de remplissage en béton du cylindre au pied de l'appareil après que l'on ait fait tomber le béton se trouvant dans le récipient supérieur, dans le récipient intermédiaire, puis enfin dans le cylindre. On compare le poids du béton arrivé par rapport au poids maximal de béton vibré pouvant remplir le cylindre (BS 1881).</p>	<p>la résistance rencontrée par les palettes lorsqu'on fait tourner la tige-support par l'intermédiaire d'un ressort spiral intérieur.</p>	<p>le temps de vibration en (s) jusqu'à ce que le disque soit en contact avec le béton sur toute sa surface. (Recommandations RILEM C.P.C. 2.2 de novembre 75).</p>	<p>le nombre de chocs jusqu'à ce que le disque et le béton soient au même niveau.</p>
<p>Statique Laboratoire</p>	<p>Statique Chantier</p>	<p>Dynamique Laboratoire</p>	<p>Statique Chantier</p>
 <p>Résistance à la pénétration au boulet de Kelly</p>	 <p>Résistance à la pénétration au cylindre de Graf</p>	 <p>Résistance à la pénétration à la sonde de Humm</p>	<p>le nombre de coups provoqués par la masselotte pour créer un enfoncement de 10 cm.</p>
<p>Statique Laboratoire</p>	<p>Statique Chantier</p>	<p>Statique Laboratoire</p>	<p>Statique Chantier</p>

3.2. Contrôle intégré de la consistance [13]

Les centrales à béton modernes et, à fortiori, les centrales de béton prêt à l'emploi, comportent des équipements permettant notamment de fabriquer les gâchées successives avec une consistance constante.

Sous réserve d'étalonnages préalables en fonction du type de béton réalisé, ces équipements sont pratiquement indispensables dans le cas des centrales à grand débit où il est difficile de vérifier visuellement la consistance dans le malaxeur.

3.2.1. L'ampèremètre

Pour un volume et un type de béton donné, l'eau est ajoutée pour obtenir une position de l'ampèremètre qui correspond à la plasticité que l'on désire.

3.2.2. Le wattmètre enregistreur

C'est la puissance absorbée au moteur du mélangeur qui est enregistrée graphiquement. Le palier *CD* correspond à la consistance recherchée (fig. 29).

Les enregistrements systématiques permettent, de plus, de déceler les anomalies de fabrication comme un temps de malaxage trop court ou une erreur de dosage.

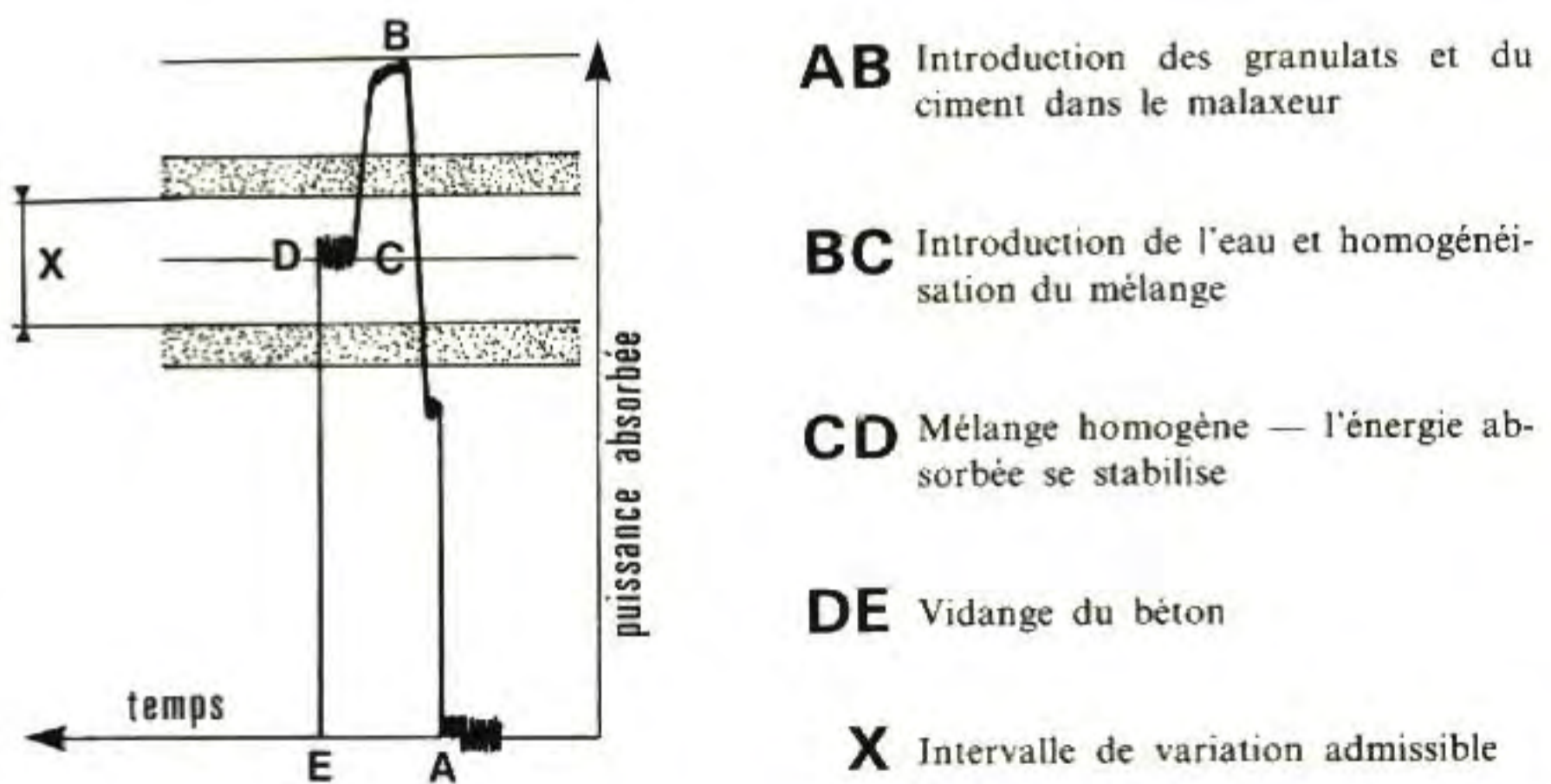


FIG. 29. — Courbe caractéristique d'un cycle complet pour la fabrication d'une gâchée, obtenue sur wattmètre enregistreur (Doc-CORMON).

3.2.3. Le servo-ouvrabilimètre du C.E.B.T.P.

C'est ici la vitesse de rotation du moteur qui est mesurée pendant la confection d'une gâchée. La vitesse est d'autant plus basse que le mélange est consistant. Comme dans le cas précédent, il est donc possible, à partir d'un étalonnage préalable, de définir un palier de vitesse correspondant à une plasticité donnée.

3.2.4. Sondes à résistivité

C'est la résistance qu'offre le béton entre deux électrodes plongeantes qui est mesurée.

3.2.5. Automatisation sur l'incorporation de l'eau

Ces diverses techniques permettent donc de « régler » la consistance du béton uniquement par le truchement de l'ajout plus ou moins important de l'eau de gâchage.

Dans les installations importantes, un automatisme intégral permet l'ajustement automatique de la quantité d'eau ajoutée à la gâchée.

Il ne faut cependant pas oublier que cette technique nécessite parallèlement la mesure de la teneur en eau des granulats qui peut varier d'une façon importante en cours de journée. La masse réelle des granulats doit être corrigée suivant leur taux d'humidité.

4. ANALYSES DE BÉTON FRAIS

Pour diverses raisons, on peut être amené à vérifier la composition du béton frais fabriqué. Il s'agit surtout de déterminer le dosage réel en ciment. Dans ce cas particulier, la proportion des éléments inférieurs à 0,1 mm par exemple, dans la masse totale de béton frais analysé (plusieurs kg), déterminée par simples pesées, peut suffire.

Dans le cas plus général d'une analyse complète pour déterminer avec une meilleure précision la proportion de tous les éléments constitutifs, y compris l'eau, des méthodes plus complexes sont utilisées et des pesées hydrostatiques sont nécessaires (méthode Joisel).

Les analyses sont toujours faites sous l'eau.

La précision n'est pas très bonne et les analyses sont longues, surtout la méthode Joisel.

5. POURCENTAGE D'AIR OCCLUS

Quand un adjuvant est utilisé et particulièrement un entraîneur d'air, la mesure de la quantité d'air occlus est réalisée pour s'assurer de l'effet entraîneur d'air du produit. C'est le cas pour pratiquement tous les bétons de route.

Rappelons que l'air entraîné par adjuvant se trouve dans le béton sous forme de bulles de dimension très réduites réparties de façon homogène. Il a pour but d'améliorer la maniabilité et de diminuer la gélivité.

La quantité mesurée englobe l'air entraîné ainsi que l'air restant dans le béton non adjuvanté, même vibré. Quel que soit l'intensité de vibration, il reste toujours dans ce dernier, de 0,5 à 2 % d'air suivant la finesse du sable, le dosage en ciment et en eau. La quantité totale d'air est souvent comprise entre 3 et 7 % pour le béton adjuvanté avec entraîneur d'air.

5.1. Mesure de l'air occlus

Elle se fait à l'aide d'un aéromètre sur une quantité de béton de 6 litres pour les bétons courants.

Trois méthodes peuvent être employées; elles sont décrites dans la norme belge NBN 748-02, 03 et 20. Il s'agit des méthodes volumétriques, à pression constante et à pression variable; suivant le cas, l'air est comprimé ou remplacé par de l'eau. Il y a lieu de bien suivre les instructions des notices notamment en ce qui concerne les purges, la pression...

Quant au mode de mise en place du béton dans le réservoir, il faut réaliser celui qui est retenu pour le compactage du béton de l'ouvrage.

Le plus souvent, l'appareil est constitué d'un réservoir de forme évasé dans lequel est compacté le béton. Le couvercle, muni d'un tube gradué et d'un manomètre, est fixé hermétiquement sur le réservoir (fig. 30).

De l'eau est introduite dans le tube jusqu'à un repère zéro en haut. Une pression est ensuite appliquée à l'aide d'une petite pompe manuelle.

Le pourcentage d'air total est lu directement sur le tube gradué.

6. TRANSPORT ET MISE EN ŒUVRE DANS LES COFFRAGES

C'est la dernière phase de toute la chaîne de fabrication qui peut remettre en cause à elle seule la qualité du béton de l'ouvrage. En effet, une vibration excessive, la chute d'une trop grande hauteur dans le coffrage

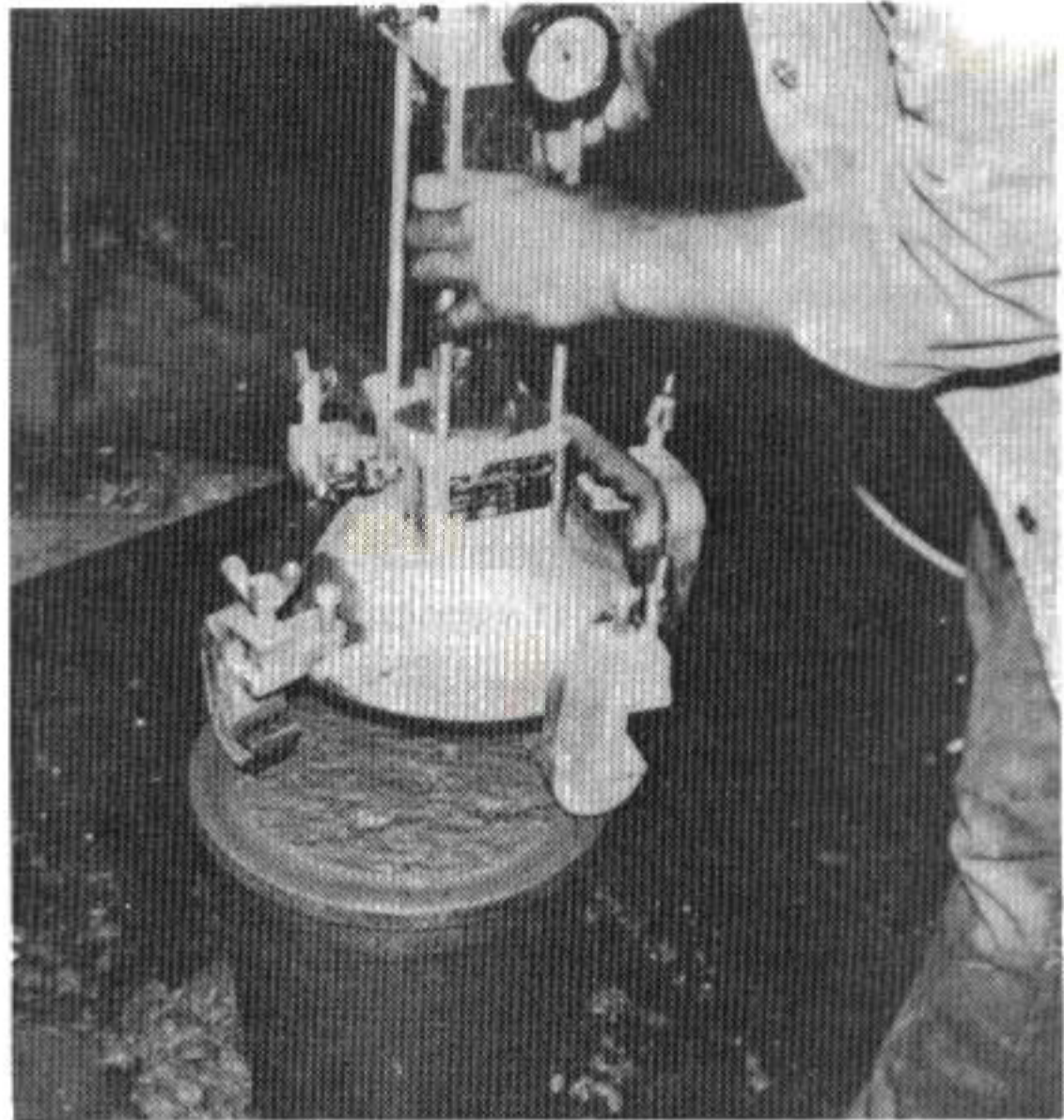


FIG. 30. — Aéromètre à béton avant mise en place de la partie supérieure.

sans précautions particulières, peuvent compromettre tous les soins apportés à la composition ou au malaxage.

6.1. Transport

Le béton préparé en usine est, le plus souvent, transporté en camion spécial qui permet de garder une homogénéité satisfaisante jusqu'au lieu de la mise en œuvre elle-même.

Mais le transport sur chantier, surtout quand il s'effectue avec des engins roulants (dumper, etc.) peut compromettre l'homogénéité du béton, même pour un temps de transport très court. Heureusement, un nouveau mélange se produit au moment du déversement dans la benne ou dans le coffrage.

6.1.1. Pompage

C'est une technique d'acheminement du béton très employée aujourd'hui. On retiendra surtout que l'affaissement doit être de 8 à 10 cm et que la proportion de sable doit être plus importante pour le béton destiné à être pompé.

Le pompage du béton léger est plus difficile, mais avec des granulats peu absorbants et certains adjuvants, le pompage du béton léger est cependant possible.

6.2. Conseils pratiques pour la mise en place dans les coffrages élancés

La mise en place dans les voiles ou les poteaux d'une certaine hauteur est toujours assez délicate. Pourtant, l'observation des quelques règles simples suivantes donne les meilleurs résultats tant pour l'aspect que pour les caractéristiques mécaniques :

— *Étanchéité du coffrage* : l'étanchéité des coffrages métalliques est difficile à obtenir et, pour un défaut d'étanchéité identique à celui d'un coffrage bois, la fuite d'éléments fins (laitance) est plus importante.

— *Consistance* : dans la plupart des cas, un affaissement au cône de 8 à 10 cm est optimal pour le béton vibré.

— *Rapidité de vidage de la benne* : sans compromettre la tenue du coffrage, le béton doit être versé assez rapidement afin d'éviter une ségrégation sur les armatures et le coffrage pendant la chute. Il faut veiller cependant à ne pas dépasser une certaine hauteur de la couche à vibrer ; suivant les difficultés, la hauteur des couches devrait être de 30 à 80 cm.

— *Enrichissement de la première gâchée* : le béton de la première benne descendu en fond de moule perd une bonne partie de ses éléments fins au contact des armatures et du coffrage ; il est nécessaire d'enrichir la première gâchée en ciment et en sable (10 % sur chacun des deux constituants est raisonnable). Faisons remarquer que cet appauvrissement en ciment est accentué dans le cas de la première gâchée quand le mélangeur et le matériel de transport sont propres.

— *Utilisation d'un tuyau* : pour des hauteurs de coffrage supérieures à 3 m, le meilleur résultat est obtenu avec l'utilisation d'un tuyau ; ceci évite au béton de « cascader » dans les armatures et le coffrage. Le tuyau est maintenu légèrement plongeant dans le béton.

— *Temps de vibration* : si le temps de vibration doit être suffisant pour éviter les nids de cailloux, il ne doit toutefois pas être excessif. Trop souvent, par souci d'obtenir un remplissage satisfaisant du fond de coffrage qui n'est pas visible à la mise en œuvre ou pour des raisons d'attente d'une benne suivante sans arrêter le fonctionnement du vibreur, les temps de vibration sont trop longs ; ils atteignent parfois 5 à 10 fois le temps strictement nécessaire à un compactage satisfaisant. Il s'ensuit une ségrégation importante dans la masse du béton étant donné les différences de densité entre les gros granulats et le mortier dans sa partie fine.

Il est possible de chiffrer le temps nécessaire pour une vibration normale à partir de la relation empirique suivante [14] valable pour la vibration interne :

$$T = \frac{25}{\varnothing} \left(\frac{100}{A + 5} + G \right) \left(\frac{V}{10} + 2,5 \right) F$$

avec :

T temps total effectif de vibration en secondes, qui représente environ les 2/3 du temps total de l'opération de bétonnage.

∅ diamètre du vibreur employé (aiguille) en mm.

A affaissement au cône en cm.

V volume de béton à vibrer en litres.

G et *F* coefficients d'angularité et de ferrailage (tableaux XX et XXI).

TABEAU XX — Valeurs du coefficient d'angularité des granulats

G : coefficient d'angularité

Gravier	Sable	<i>G</i>
Roulé	Roulé	1
	Semi-concassé	3
Concassé	Concassé	5

TABEAU XXI — Valeurs du coefficient de ferrailage

F : coefficient de ferrailage

Ferrailage	<i>F</i>
Très dense	1,50
Dense	1,35
Normal	1,20
Faible	1,10
Inexistant	1,00

La constante 2,5 est assez rapidement négligeable ; elle figure dans la formule pour une raison de continuité et de tangence avec la formule employée pour les éprouvettes (volume ≤ 25 litres) :

$$T = \frac{25}{\varnothing} \left(\frac{100}{A + 5} + G \right) \sqrt{V} \times F$$

La première formule utilisée pour les volumes quelconques permet en plus de la vérification du temps, d'estimer le nombre d'aiguilles à prévoir en fonction de leur diamètre et de la cadence de bétonnage.

Signalons enfin que la vibration interne par aiguille donne des résultats plus satisfaisants quant à l'aspect notamment. Bien entendu, il ne faut pas voir dans notre propos la remise en cause de la vibration par coffrage qui rend de grands services.

Des aiguilles de grandes dimensions sont parfois employées pour les masses importantes de béton (fig. 31).



FIG. 31. — Vibreur interne de type « aiguille » de grande dimension déplacée à l'aide de la grue (diamètre 300 mm).

7. MESURE DE L'ÉTAT DE SÉGRÉGATION

A l'occasion d'une recherche concernant l'hétérogénéité du béton [14] nous avons mis au point une méthode simple de mesure de l'état de ségrégation. Elle consiste à prélever une dizaine de litres de béton à l'endroit et au moment où l'on désire connaître l'état d'hétérogénéité, puis d'effectuer une analyse sous l'eau à l'aide d'un seul tamis (5 mm). L'eau de lavage est bien entendu mesurée.

L'indice de ségrégation IS est donné par le rapport pondéral suivant :

$$IS = \frac{\frac{m}{m + g}}{\frac{M}{M + G}}$$

m poids de mortier (sable < 5 mm, ciment, eau) de l'échantillon analysé,

g poids de gravier > 5 mm de l'échantillon analysé,

M et G poids respectifs de mortier et de gravier de la composition (pesées effectivement réalisées pour la gâchée).

TABLEAU XXII — Tableau type pour la mesure de ségrégation

INDICATIF:

FOLIO n°:

DATE: 10-1-78 OPERATEUR: _____ Temps de transport: $\frac{1}{2}$ H.; Poids analyse: gr.

composition par m³ de BETON : GRAVIER: 1130 SABLE: 665 CIMENT: 350 EAU: 195

Déclassé Inférieur à 5 mm: 2,5 % du gravier 5/12,5

Déclassé Supérieur à 5 mm: 0 % du sable 0/5

Go = gravier - décl. inf. du gravier + décl. sup. du sable

Mo = ciment + eau + sable - décl. sup. du sable + décl. inf. du gravier

$$\frac{Mo}{Mo + Go} = \frac{0,5188}{\quad}$$

$$IS_{on} = \frac{\frac{M}{M+G}}{\frac{Mo}{Mo+Go}}$$

TARES : sur G: 6850 g sur M: 8260 g + eau de lavage

N°	Eau de lavage:	G brut	G net	EG 2,5 %	Gnet-EG G	M brut	M net	Mnet+EG M	M + G	$\frac{M}{M+G}$	IS _{on}
3	6000	16990	10140	253	9887	28710	14450	14703	24590	0,5979	1,15

Le tableau XXII indique la marche à suivre pour l'analyse et le calcul. Il s'agit de la détermination de la variation de la richesse en mortier. Un indice égal à l'unité indique une ségrégation nulle. Il est donc possible, avec cet indice, de contrôler l'homogénéité en tout point de la fabrication et de la mise en œuvre.

A titre d'exemple, nous donnons ci-après la variation d'homogénéité constatée sur un béton courant après des temps de transport différents. Le transport a eu lieu dans une benne non spécialement prévue à cet effet.

On remarque que le temps de transport n'influe plus beaucoup après un quart d'heure (fig. 32). Ceci confirme ce que nous avons énoncé quant au transport sur chantier à savoir qu'en peu de temps et peu de distance, une ségrégation importante du béton peut se produire.

Nous pourrions multiplier les exemples pour lesquels la mesure de ségrégation s'avère très significative.

La figure 33 représente la ségrégation qui se produit avec des vibrations trop puissantes et trop longues dans un béton traditionnel ainsi que dans un béton de granulats légers.

8. VÉRIFICATION DES ARMATURES

Avant tout bétonnage, une vérification de la distance entre les armatures et le coffrage doit avoir lieu. Le passage d'une règle de bois dont l'épaisseur correspond au recouvrement minimal, donne les meilleurs résultats pour les parements verticaux.

A l'occasion de cette vérification, le responsable examine le fond de coffrage afin de s'assurer de la propreté de celui-ci. Les chutes de coupes des ligatures doivent être soufflées et ramassées. On examine également la bonne position des cales d'épaisseur.

Ces précautions évitent l'apparition des « coulures » de rouille sur les parements du béton ; elles assurent une durabilité plus grande de la structure par une bonne protection des aciers et une adhérence satisfaisante du béton sur ceux-ci.

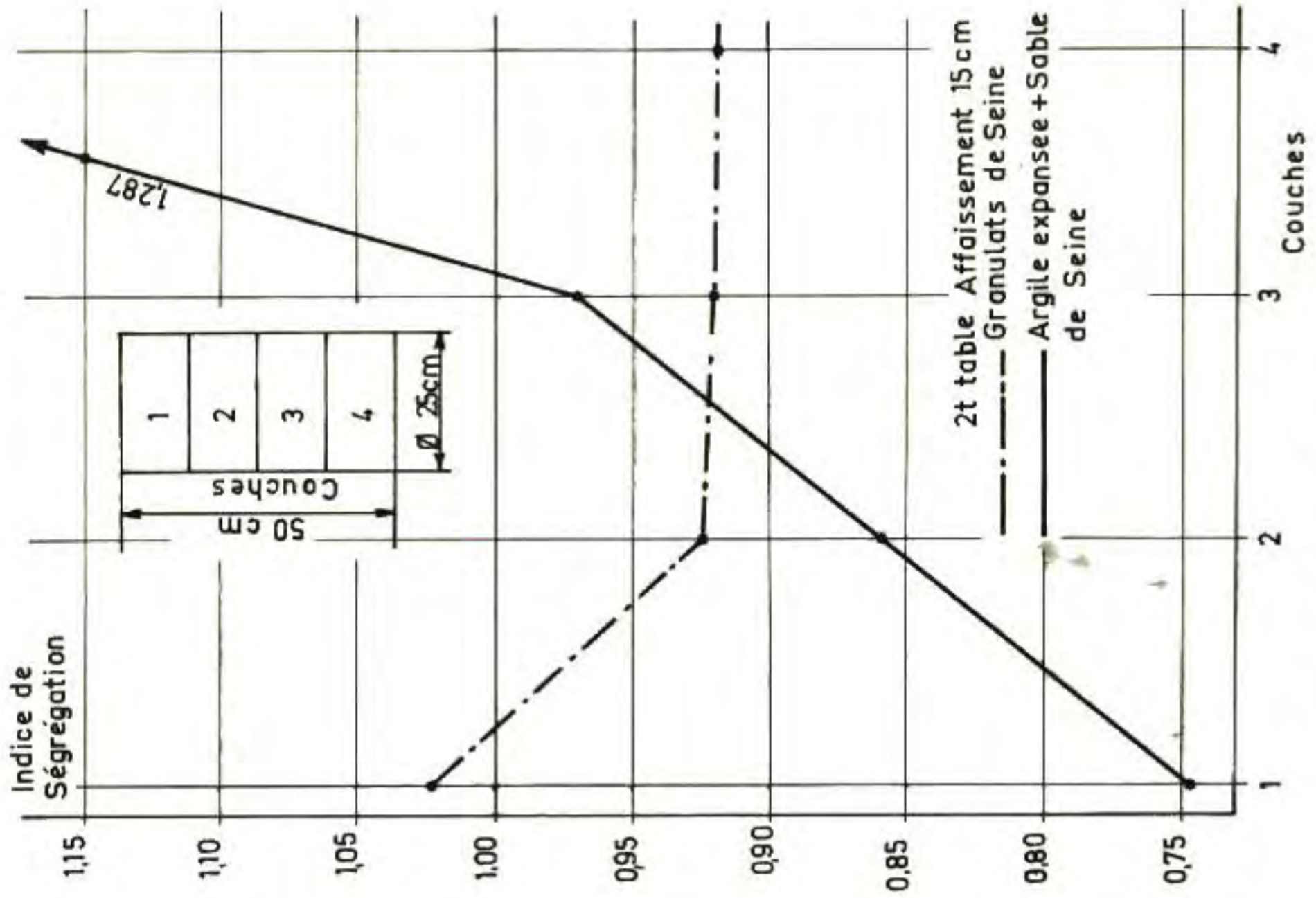


FIG. 33. — Ségrégation mesurée après un temps de vibration trop long.

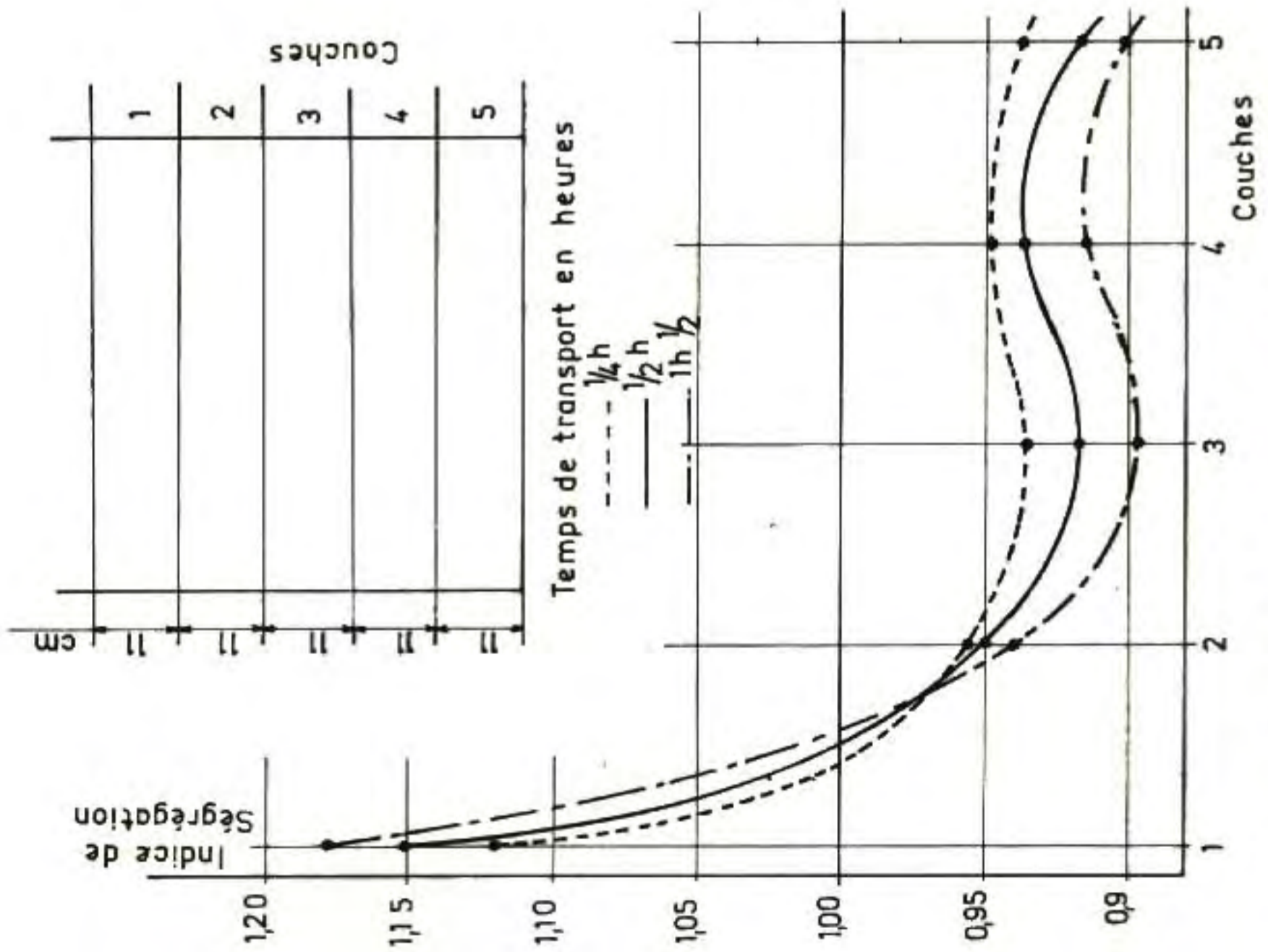


FIG. 32. — Variation de l'indice de ségrégation pour trois temps de transport. La hauteur du béton dans le bac était de 55 cm.

CHAPITRE 6

CONTRÔLE ET ESSAIS CONCERNANT LE BÉTON DURCI

1. LES PRINCIPALES QUALITÉS RECHERCHÉES POUR LE BÉTON DURCI

Afin que le béton reste un matériau de choix, tant pour son prix de revient que pour des raisons pratiques diverses, on lui demandera surtout :

- d'avoir un aspect satisfaisant et de « bien vieillir »,
- d'être durable,
- de protéger parfaitement les armatures contre la corrosion et d'y être adhérent,
- d'être imperméable (le plus souvent),
- d'être résistant à la compression et à la traction,
- d'avoir des déformations volumiques faibles (retrait, fluage).

D'autres qualités seraient, bien entendu, très appréciées, mais étant donné qu'elles ne peuvent être accrues très sensiblement, nous nous limitons volontairement aux qualités énoncées.

Il serait en particulier souhaitable que le béton puisse se déformer beaucoup plus à la traction afin de retarder d'autant l'apparition de fissures. Mais c'est justement parce qu'il est résistant à la compression et peu résistant à la traction que le béton armé et le béton précontraint ont vu le jour.

2. RÉSISTANCE A LA COMPRESSION PAR RUPTURE D'ÉPROUVETTES (NF P 18 406) DURCISSEMENT

Dans l'état actuel des connaissances et de la technologie en matière de méthodes d'essais diverses et malgré l'intérêt croissant pour certaines méthodes modernes, l'essai d'écrasement demeure nécessaire.

Quand il est réalisé consciencieusement, cet essai donne des résultats très significatifs de la qualité du béton en général. Mais il ne faut pas lui accorder trop de signification physique en pensant notamment que l'on obtient *la* résistance à la compression. Nous savons en effet, que les résultats obtenus varient sensiblement en fonction des modes de préparation et de sollicitation des éprouvettes. C'est pour cette raison que nous préférons parfois dénommer ce test : « essai d'écrasement ».

Age pour les essais

Les essais ont lieu sur des bétons de plus en plus jeunes tout au moins en ce qui concerne les essais d'information. Depuis quelques années, l'échelle du temps en matière d'âge pour les essais d'écrasement a pratiquement été divisée par 24 ; il est beaucoup plus souvent question d'heures que de jours.



FIG. 34. — Évolution de la résistance jusqu'à deux ans d'un béton de qualité dosé à 350 kg de ciment par mètre cube.

En effet, à une époque où les délais d'exécution sont de plus en plus courts, avec les techniques de durcissement accéléré obtenu par étuvage ou par utilisation de ciment « nerveux » et d'accélérateurs, les bétons sont sollicités très jeunes.

Les essais sur bétons très jeunes y compris les essais accélérés, permettent par ailleurs d'intervenir rapidement sur les constituants et les dosages pour des corrections éventuelles.

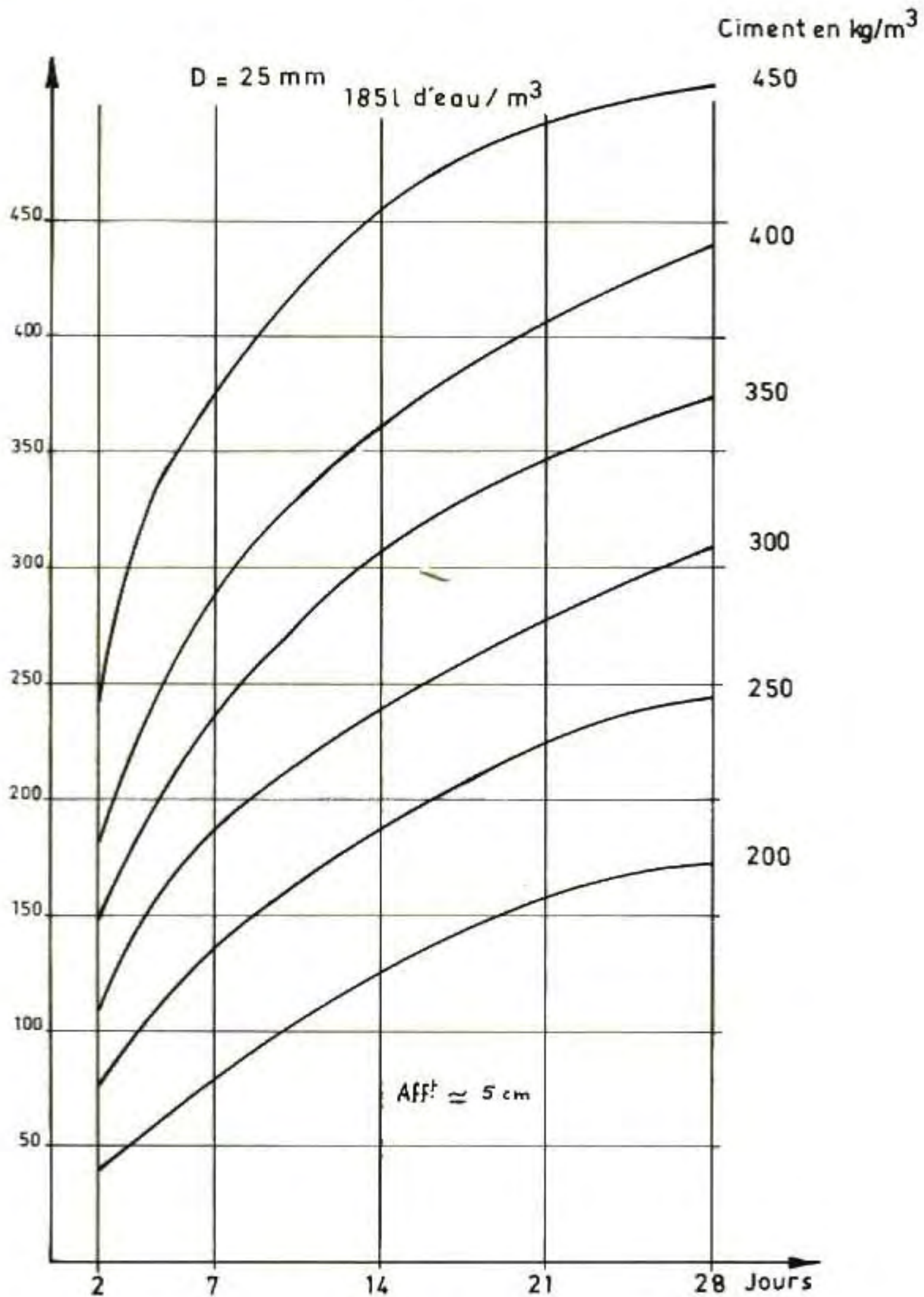


FIG. 35. — Courbes de résistance à la compression jusqu'à 28 jours de béton dosés de 200 à 450 kg/m³.

Mais les essais à plus long terme sont plus que jamais nécessaires étant donné que plus l'accélération de durcissement est importante, plus il y a de risque sur la qualité à terme du béton.

L'évolution de la résistance dans le temps est donc nécessaire à connaître. L'âge du premier essai sera retenu en fonction des impératifs de construction : décoffrage, mise en précontrainte, etc. Les âges d'essais suivants seront par exemple 7 et 28 jours (C.P.C. fascicule 65).

A titre de comparaison éventuelle, une courbe de durcissement à 20° C d'un bon béton dosé à 350 kg de ciment par mètre cube, est donnée sur la figure 34.

Les durcissements varient considérablement suivant la température, le dosage, mais également la nature du ciment (fig. 35).

2.1. Les éprouvettes

On utilise des éprouvettes cylindriques dont la hauteur est égale à deux fois le diamètre; celui-ci est fonction de la grosseur des plus gros granulats utilisés (tableau XXIII).

Cette prescription, basée sur la règle des « 4 D » (diamètre du cylindre \geq quatre fois la dimension du plus gros granulat) ne semble pas parfaitement justifiée quand on s'éloigne des dimensions les plus courantes $16 \leq D \leq 31,5$ mm.

TABLEAU XXIII — Dimension des cylindres en cm et du vibreur en mm à utiliser en fonction de D

<i>Dimension D du granulat</i>	≤ 20 mm	$\leq 31,5$ mm	≤ 40 mm
Cylindre de	11 *	16	25
Aiguille de	25	25	37
Nombre de couches	2	2	3

* La mise en place par aiguille vibrante est autorisée pour le cylindre de 11, à condition que mention en soit faite au compte rendu (cf. 2.7.4.1 de NFP 18 404).

2.1.1. Contrôle des gros bétons

D'après les premiers résultats d'une recherche en cours dans nos laboratoires, il semblerait d'une part nécessaire d'utiliser des moules plus conséquents pour les bétons fins et d'autre part, que la règle pourrait être atténuée pour les gros bétons.

Ceci est intéressant car dans le cas des gros bétons (ouvrages très massifs comme les barrages par exemple), la règle énoncée conduit soit

à réaliser des éprouvettes trop lourdes et demandant un matériel d'essai puissant, soit à réduire le béton pour le contrôle, par élimination des gros cailloux.

La règle bien connue des « 4 D passoire », qui correspond à « 5 D tamis », signifie que la plus petite dimension de l'éprouvette doit être supérieure ou égale à quatre fois la dimension du plus gros granulat. Simple à retenir et à utiliser, cette règle linéaire ne semble pas justifiée.

L'effet de paroi diminue rapidement quand la dimension des moules à béton augmente. La formule, qui semble donner satisfaction pour les cylindres de 16 cm de diamètre et les granulats courants, est peut être un peu trop large dans le cas des petits moules, mais est vraisemblablement trop restrictive pour le contrôle des gros bétons.

On sait que les cylindres de 25 cm de diamètre constituent les éprouvettes les plus grosses susceptibles d'être manipulées par une ou deux personnes et essayées dans des presses courantes. En conséquence, dans le cas des bétons pour lesquels D est supérieur à 50 mm (cas fréquent des barrages ou ouvrages à la mer), il serait nécessaire, ou bien de disposer d'engins de manutention des éprouvettes et de presses énormes, ou bien de réduire le béton.

Cette dernière possibilité, parfois utilisée, doit cependant être évitée pour des questions de représentativité.

Nous suggérons donc, à partir de nos résultats d'essais, l'adoption d'une règle non linéaire de la forme $K \sqrt[3]{D}$ (peut-être $25 \sqrt[3]{D}$).

Ceci serait plus réaliste et permettrait le contrôle des gros bétons sur béton entier avec des éprouvettes de dimension raisonnable, par exemple, cylindre \varnothing 25 cm pour $D = 100$ (et même 125) mm.

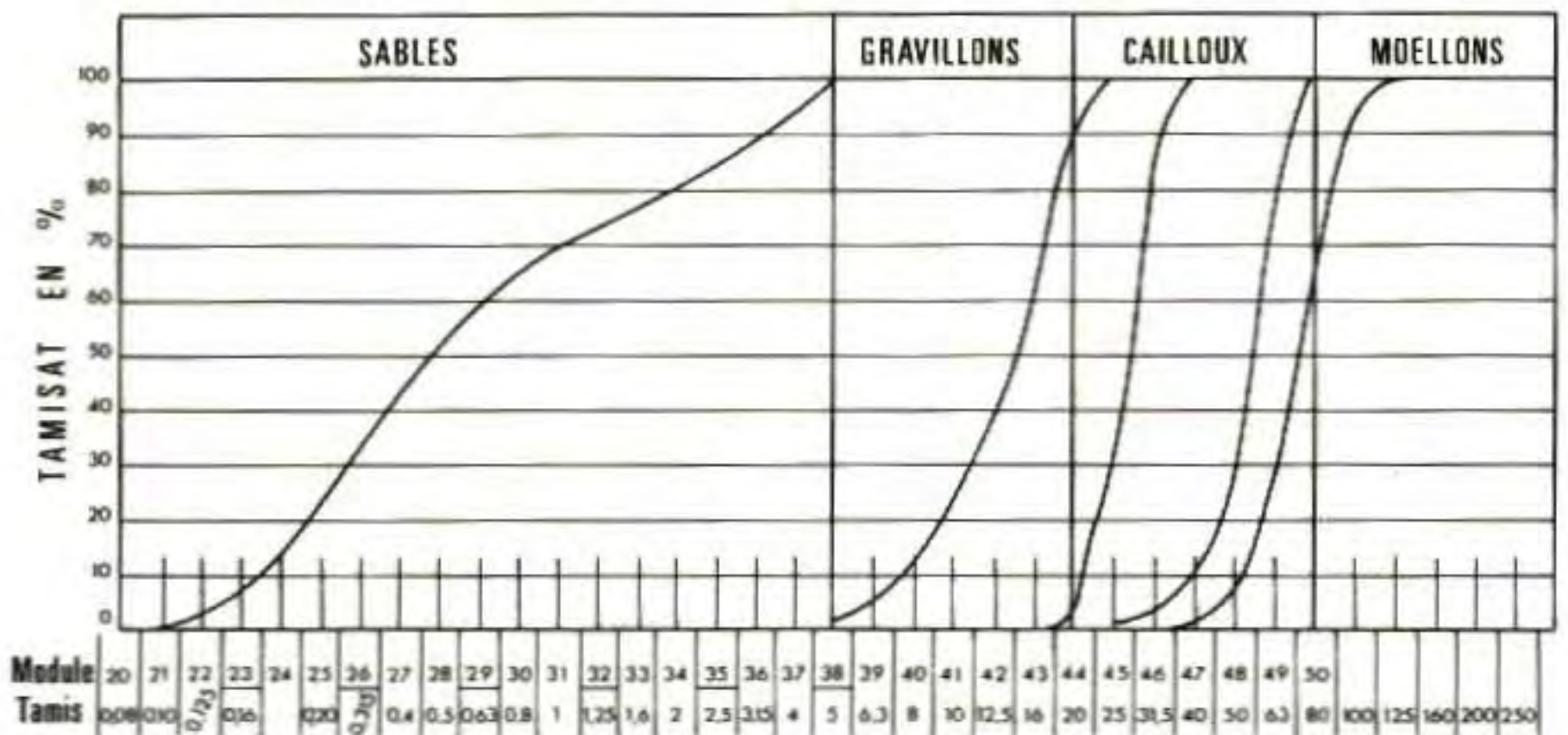


FIG. 36. — Courbes granulométriques des granulats utilisés pour notre étude ($D = 125$ mm).

L'étude en cours porte sur des bétons réduits ou non jusqu'à $D = 125 \text{ mm}$ (fig. 36) avec des éprouvettes cylindriques de 11 à 40 cm de diamètre et d'élançement habituel de 2 (fig. 37).

Sous réserve de confirmation de résultats par des essais en cours, la figure 38 indique la variation de résistance à l'écrasement des différents cylindres pour le béton entier $D = 125 \text{ mm}$ d'une part et pour le béton réduit dans chaque cas suivant la règle des « 5 D tamis » d'autre part. Le dosage en ciment est de 300 kg/m^3 et la consistance plastique.



FIG. 37. — Les différentes éprouvettes cylindriques confectionnées pour les essais (11 à 40 cm de diamètre).

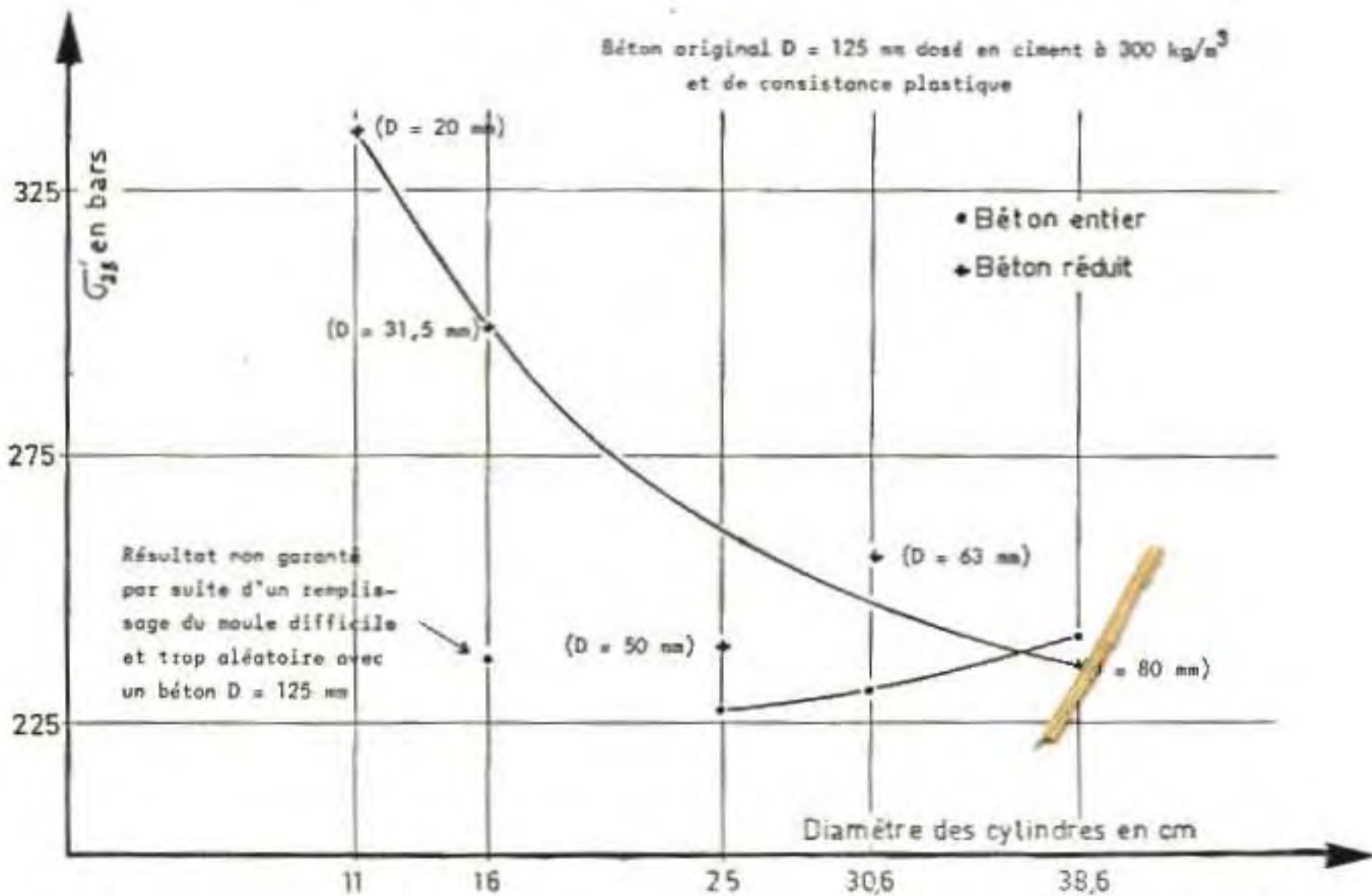


FIG. 38. — Variation de la résistance du béton entier et du béton réduit à 5 D en fonction du diamètre du cylindre.



FIG. 39. — Cônes employés pour la mesure de consistance (hauteur maximale 75 cm).

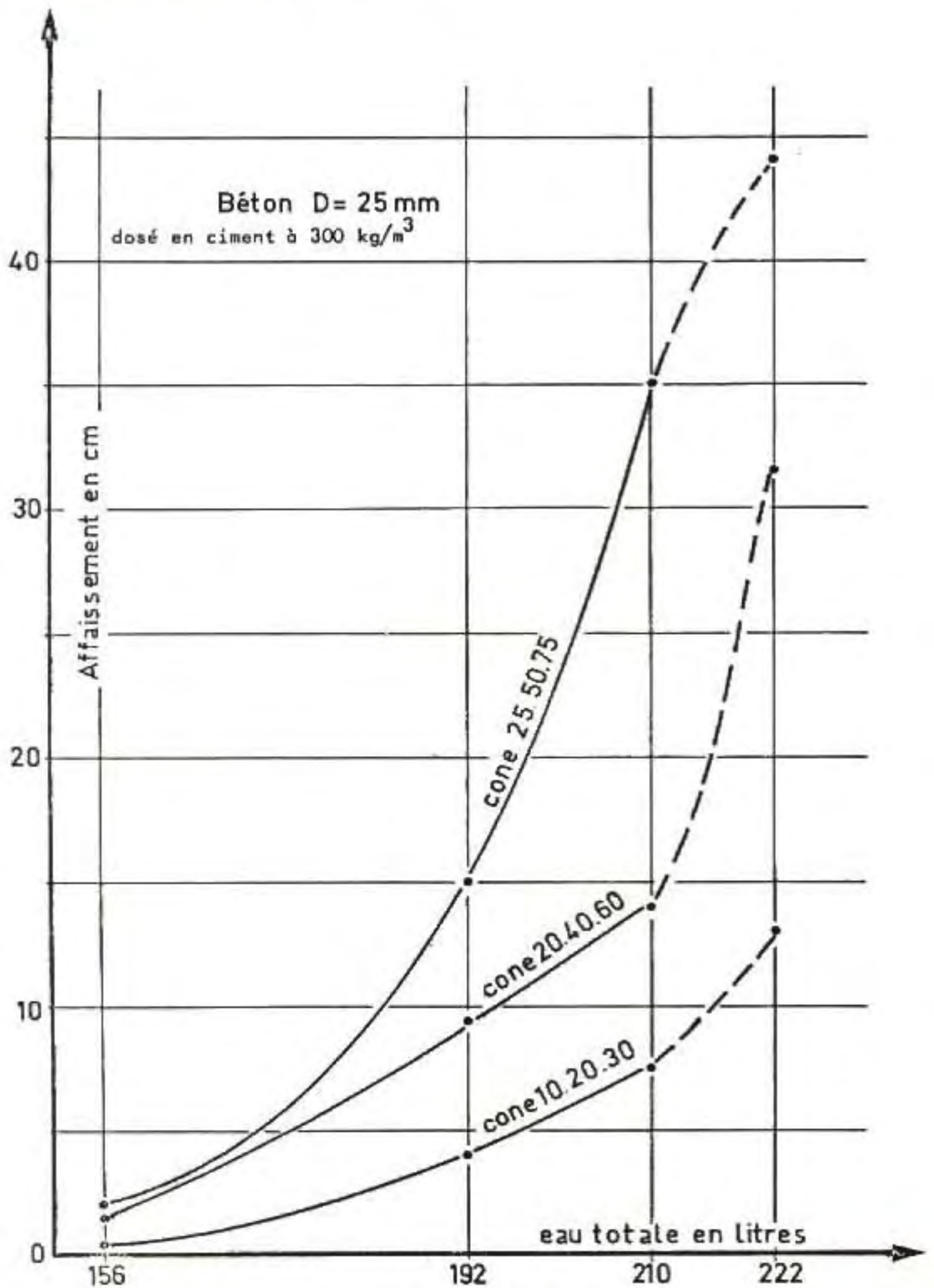


FIG. 40. — Affaissements obtenus avec les différents cônes pour $D = 25 \text{ mm}$.

Le problème des mesures d'affaissement avec le cône normal $10 \times 20 \times 30$ cm se pose également et c'est pour cette raison qu'est menée parallèlement une étude sur la mesure de la consistance, notamment à l'aide de cônes de différentes dimensions (fig. 39).

Pour un béton $D = 25$ mm dosé à 300 kg de ciment, on obtient des affaissements, bien entendu différents en fonction de la hauteur des cônes (fig. 40).

2.2. Nature des moules employés

Trois matériaux sont utilisés actuellement. Il s'agit :

- du carton,
- de l'acier,
- de la matière plastique (fig. 41).



FIG. 41. — Nature des moules utilisés actuellement.
De gauche à droite : matière plastique, carton, acier.

2.2.1. Moules en carton

Ils sont très employés aujourd'hui sur les chantiers en raison du faible investissement de départ, contrairement aux deux autres types de moules. Constitués d'une bande de carton traité enroulée en hélice, ce moule nécessite cependant l'emploi d'un contre-moule au moment de la fabrication de l'éprouvette. Trois à six contre-moules suffisent dans la plupart des cas. Bien entendu, les moules ne sont utilisables qu'une seule fois.

2.2.2. Moules en acier

Pour les laboratoires fixes ainsi que pour les chantiers importants nécessitant la présence en permanence d'un personnel chargé du contrôle, l'achat et l'utilisation d'une série de moules métalliques sont préférables.

2.2.3. Moules en matière plastique

Ils ne sont pas nouveaux, mais récemment, sont apparus dans le commerce des moules en matière plastique démoulables à l'air comprimé insufflé en fond de moule par un petit trou.

Les avantages de ces moules sont :

- la rapidité de démoulage,
- le poids faible par rapport au métal,
- le nettoyage facilité (le passage d'un chiffon gras dans le moule suffit).

L'inconvénient majeur est celui du prix qui est de 1.5 fois environ celui d'un moule métallique.

L'opération de démoulage à l'air est représentée sur la figure 42.



FIG. 42. — Démoulage d'un cylindre dans un moule en matière plastique à l'aide d'air comprimé.

2.3. Fabrication des éprouvettes (NF P 18 422 et 423)

C'est une étape importante dans la chaîne du contrôle du béton. Une part importante de la dispersion des essais de compression réside dans la confection des éprouvettes. Il s'agit en effet, de prélever de petits volumes de béton et de réaliser des éprouvettes qui permettront de caractériser les qualités du béton.

Nous avons vu au chapitre 3 qu'il était nécessaire de réaliser les essais dans des conditions optimales et reproductibles, étant donné le petit volume en jeu. A cet effet, la mise en œuvre dans les éprouvettes par vibration à l'aiguille nous paraît satisfaisante.

En suivant normalement les prescriptions données dans les abaques de la norme NF P 18 422, on est assuré de minimiser les dispersions dues à la confection (fig. 43, 44 et 45).

Les valeurs de slump-test indiquées en abscisse sur les abaques de la norme en révision sont portées à 12 cm au lieu de 9 cm actuellement.

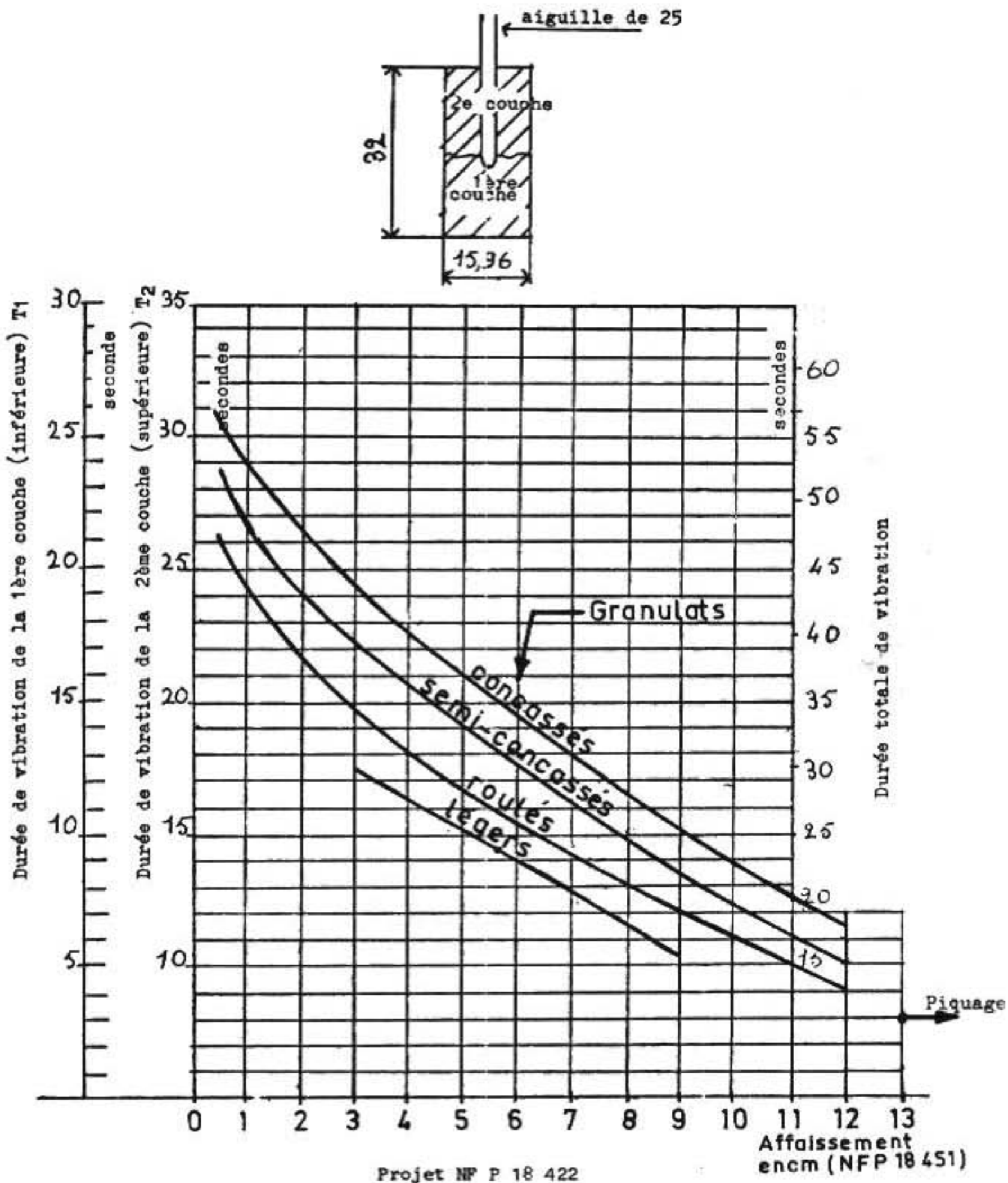


FIG. 43. — Abaque donnant le temps de vibration à l'aiguille de 25 mm pour le cylindre de 16 (PR P 18 422).

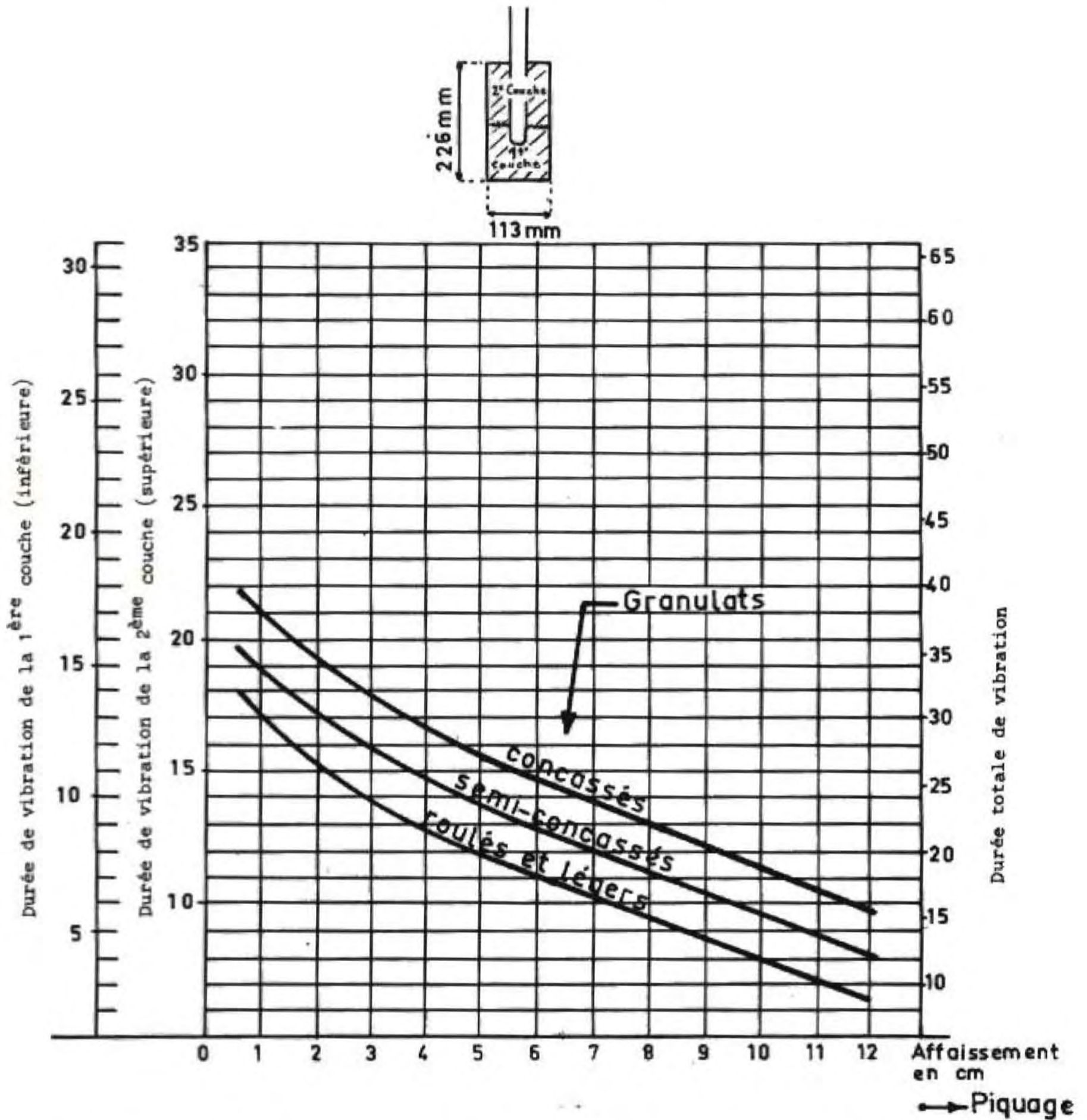


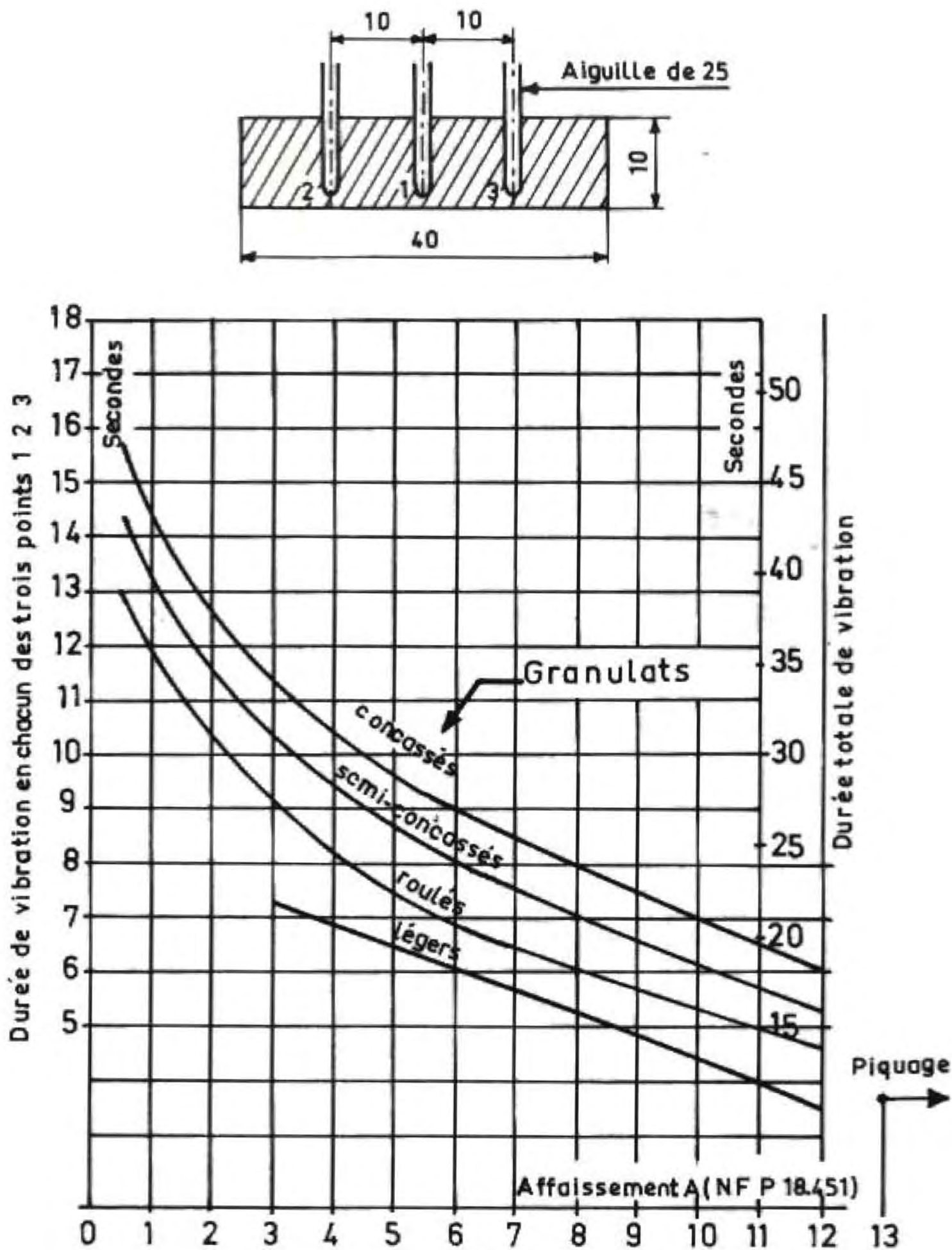
FIG. 44. — Abaque donnant le temps de vibration à l'aiguille de 25 mm pour le cylindre de 11 (toléré Pr. P 18 422).

Au-delà de 12 cm d'affaissement, les éprouvettes seront piquées comme indiqué dans la norme P 18 423 à raison de 10 coups par dm^2 de surface à l'aide de la même pique que celle utilisée pour le cône d'Abrams (\varnothing 16 mm).

Le remplissage des cylindres se fait en deux couches pour les cylindres de 11 et de 16 cm ; il se fait en trois couches pour les cylindres de 25 cm. Cette prescription a été établie à la suite d'un nombre assez important d'essais en laboratoire.

L'aiguille est remontée sans brusquerie et bien dans l'axe (fig. 46).

Les temps de vibration correspondent à un compactage à refus sans ségrégation notoire. Un temps de vibration trop long est cause de baisses de résistance et de dispersion plus grande.



Projet NF P 18 422

FIG. 45. — Abaque donnant le temps de vibration à l'aiguille de 25 mm pour le prisme 10 × 10 × 40 (Pr. P 18 422).

Il s'agit donc d'éprouvettes de béton dont la mise en œuvre est optimale et, de ce fait, ne tenant pas compte des aléas de mise en œuvre.

Bien des responsables voudraient que les éprouvettes soient totalement représentatives du béton de l'ouvrage et que le facteur mise en œuvre puisse être intégré également dans les essais.

Le volume des éprouvettes étant très faible par rapport à celui de l'ouvrage, il est extrêmement difficile de reproduire les défauts éventuels de mise en œuvre du béton de l'ouvrage dans les éprouvettes.

Néanmoins, dans le cadre de la révision de la norme *d'essais d'information*, il est prévu dans certains cas, la possibilité de réaliser un serrage différent de celui de la norme.



FIG. 46. — Vibration d'un cylindre de 16.

2.3.1. Micro-table vibrante

Un projet de norme (PR P 18 421) est établi pour la vibration des éprouvettes sur table vibrante.

Il ne s'agit pas là d'un procédé propre au contrôle du béton mis en œuvre par vibrateurs externes et sur table en usine de préfabrication. Les instigateurs de ce procédé espèrent surtout reproduire des conditions constantes d'une éprouvette à l'autre en évitant notamment des temps de vibration variables et des défauts d'hétérogénéité provoqués par l'aiguille.

D'après quelques essais réalisés au C.E.S., il ne semble pas que la dispersion sur les résistances soit moins importante avec la micro-table par rapport à l'aiguille, au contraire.

Cependant, pour réaliser certains essais comme la perméabilité, il est indispensable d'utiliser la vibration par table. La colonne centrale plus riche en éléments fins, provoquée par l'aiguille, crée une voie préférentielle pour le liquide utilisé à l'essai de perméabilité.

2.3.2. Arasement des éprouvettes

L'arasement est une opération de finition des éprouvettes qui est trop souvent prise à la légère ; elle entraîne des dispersions bien plus importantes

qu'il ne pourrait paraître. En particulier, si l'utilisation de la règle d'arasement est mentionnée dans les prescriptions des normes P 18 422 et 423, c'est pour éviter que la finition soit exécutée avec des coups de truelle à plat qui provoquent une ségrégation en tête d'éprouvette.

Les résistances en sont nettement affectées. On respectera donc la norme en utilisant la règle biseautée (fig. 47).



FIG. 47. — Arasement à la règle biseautée.

2.4. Conservation (NF P 18 404 et 405 ; voir aussi chapitre 3)

Après arasement correct de la face supérieure des éprouvettes, une protection superficielle efficace est nécessaire. Elle consiste en la mise en place d'une feuille de polyane serrée par un bracelet de caoutchouc, livrée avec les moules dans le cas des moules carton.

Suivant la destination de l'essai, contrôle ou information, les éprouvettes sont conservées soit dans l'eau à $20^{\circ} \text{C} \pm 2$, soit à proximité immédiate de la partie d'ouvrage concernée. Dans ce dernier cas, on s'attachera à essayer de reproduire des conditions aussi voisines que possible de celles du béton de l'ouvrage.

2.4.1. Démoulage et transport

Il y a lieu, bien entendu, de ne pas transporter les éprouvettes de béton frais. Suivant la rapidité de durcissement du béton en fonction de la nature du ciment, du dosage, de la température ambiante..., le démoulage et le transport pourront être effectués plus ou moins rapidement. Le délai est compris entre 24 et 48 heures après le bétonnage. Le démoulage d'un béton ayant insuffisamment durci a pour conséquence de provoquer des épaufrures qui sont préjudiciables à une détermination correcte de la résistance.

Le compte rendu d'essai doit comporter le maximum de renseignements sur la confection (date, vibration), le démoulage et surtout la conservation des éprouvettes, en particulier dans les premières 48 heures.

2.5. Rectification et surfaçage (NF P 18 416)

Si la finition des éprouvettes de béton frais a été correcte, le surfaçage suffit. Dans le cas d'une très mauvaise finition ou d'un stockage sur plan incliné, il est nécessaire de rectifier par sciage l'extrémité supérieure des éprouvettes (ISO/DIS 4012).

Il arrive également assez souvent que la face supérieure soit convexe, par suite d'un « tassement » du béton frais très mou. Le surfaçage est alors

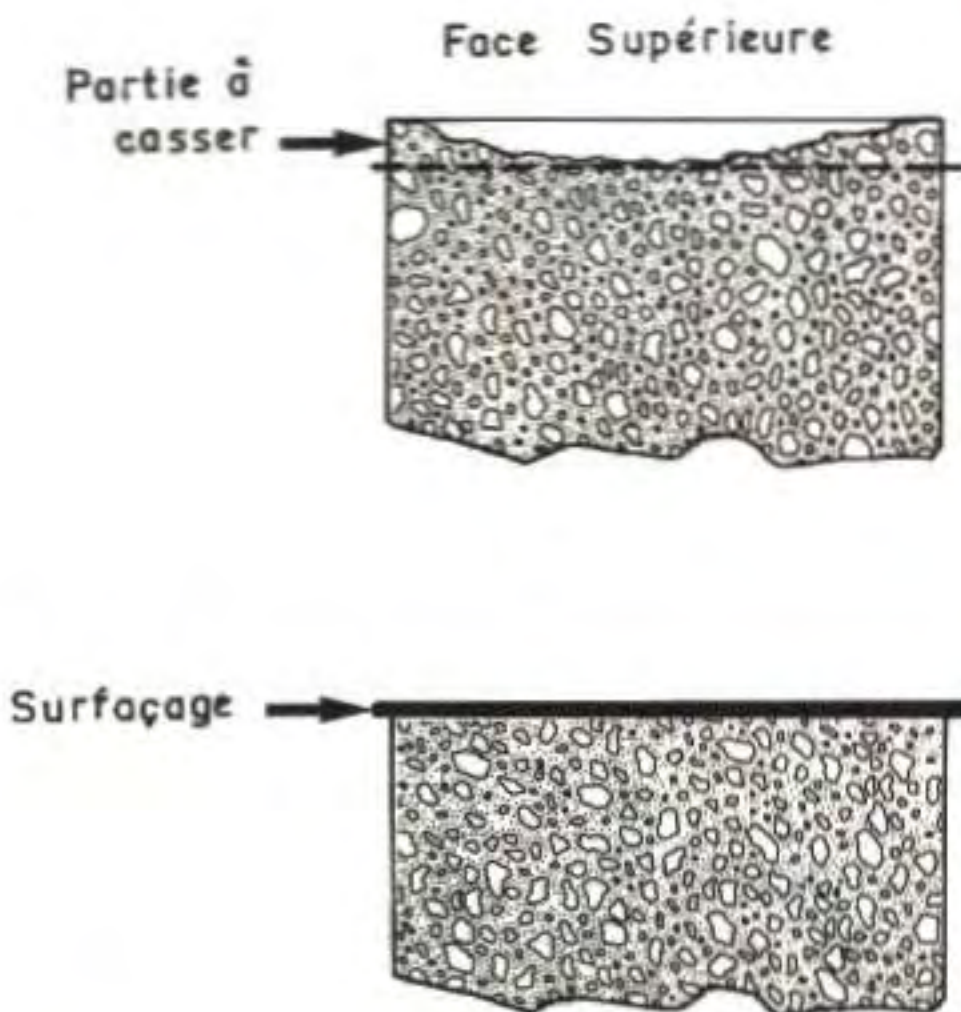


FIG. 48. — Il faut parfois casser les bords supérieurs avant de procéder au surfaçage (cas des bétons mous).

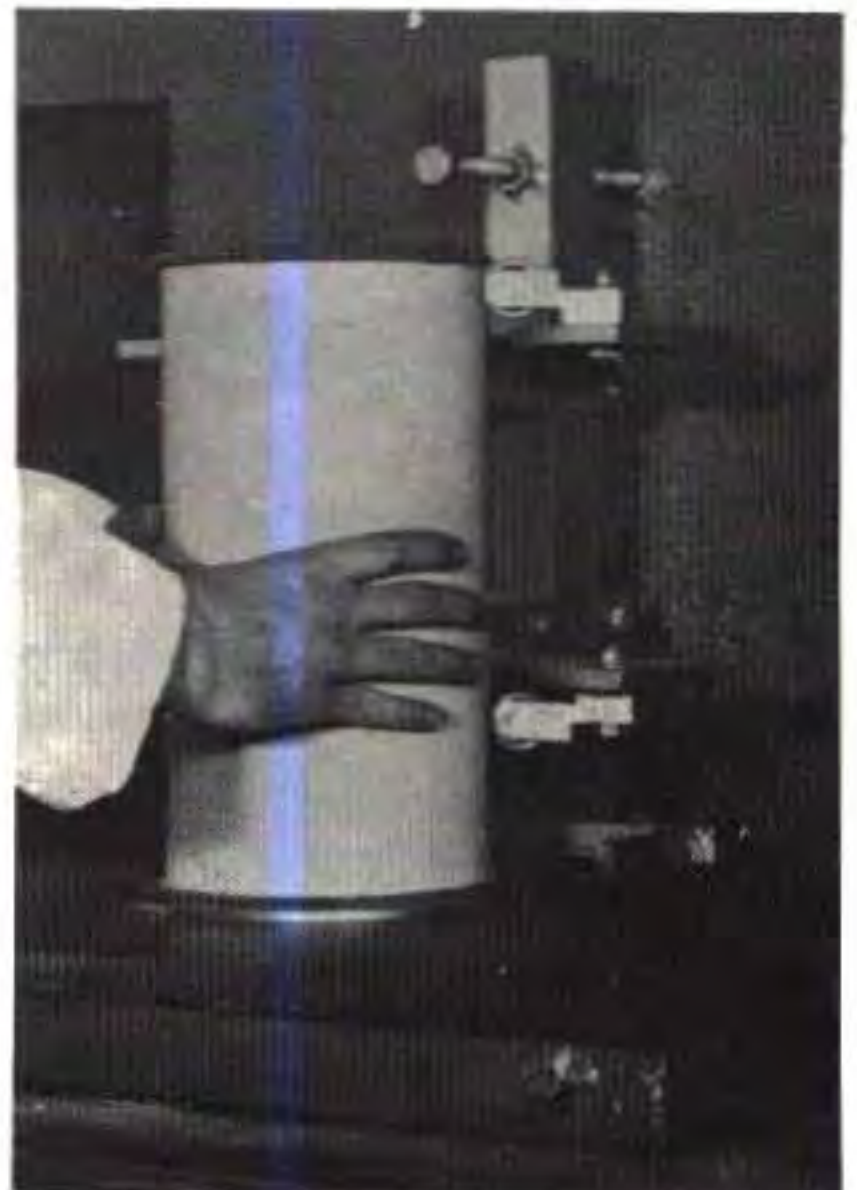


FIG. 49. — Surfaçage d'une éprouvette cylindrique au soufre.

délicat puisque l'on emprisonne une poche d'air sous la galette de surfaçage. On prendra soin de casser le pourtour de cette cuvette de béton avant de procéder au surfaçage (fig. 48).

Le surfaçage a pour but d'obtenir une planéité parfaite des faces de chargement ainsi que l'orthogonalité de celles-ci par rapport aux génératrices du cylindre.

Dans l'état actuel de nos connaissances, le surfaçage au soufre, normalisé, donne satisfaction (fig. 49). Il se compose de 65 parties de soufre et 35 parties de sable fin $\leq 0,5$ mm.

On ajoute parfois 2 % de noir de fumée. Ce produit permet une homogénéité meilleure du mélange, évite le faïençage de la galette de surfaçage et diminue le frottement sur les plateaux de presse.

Le soufre étant un matériau à plusieurs points de fusion, il y a lieu de respecter la température de 130° C environ pour le bac thermostaté.

La Norme ISO/DIS 4012 stipule que la dureté du produit de surfaçage devra être au moins égale à celle du béton testé. Des essais réalisés dans notre laboratoire, ont montré que dans la plupart des cas, la résistance à la compression du mélange « soufre-sable » est supérieure à celle du béton.

Pour les éprouvettes sortant de l'eau ou très humides, un essuyage préalable est nécessaire pour éviter le décollement du surfaçage.

Quelques coups donnés avec le doigt retourné sur le surfaçage, indiqueront la bonne adhérence du surfaçage.

2.6. Machines d'essai (NF P 18 411 et 412)

La normalisation française a prévu la rédaction de normes concernant les machines elles-mêmes. Il convient, au moment de l'achat, de choisir un matériel qui corresponde au mieux à l'utilisation que l'on en fera. Dans le cas de l'utilisation d'une presse existante ou assez ancienne, la lecture des normes attirera l'attention sur certains points particuliers.

L'étalonnage régulier de la presse ainsi que l'entretien de la machine et la vérification de la planéité des plateaux et contre-plateaux doivent retenir toute l'attention des responsables du laboratoire.

2.6.1. Les bâtis

Les forces nécessaires à la rupture des éprouvettes de béton, y compris les cylindres de 25 cm de diamètre, sont de l'ordre de 500 à 2 500 KN (~ 50 à 250 T). Des presses spéciales de laboratoires développent 5 000 ou 10 000 KN (~ 500 ou 1 000 T).

Les différents types de bâtis existant sont représentés sur la figure 50 [15].

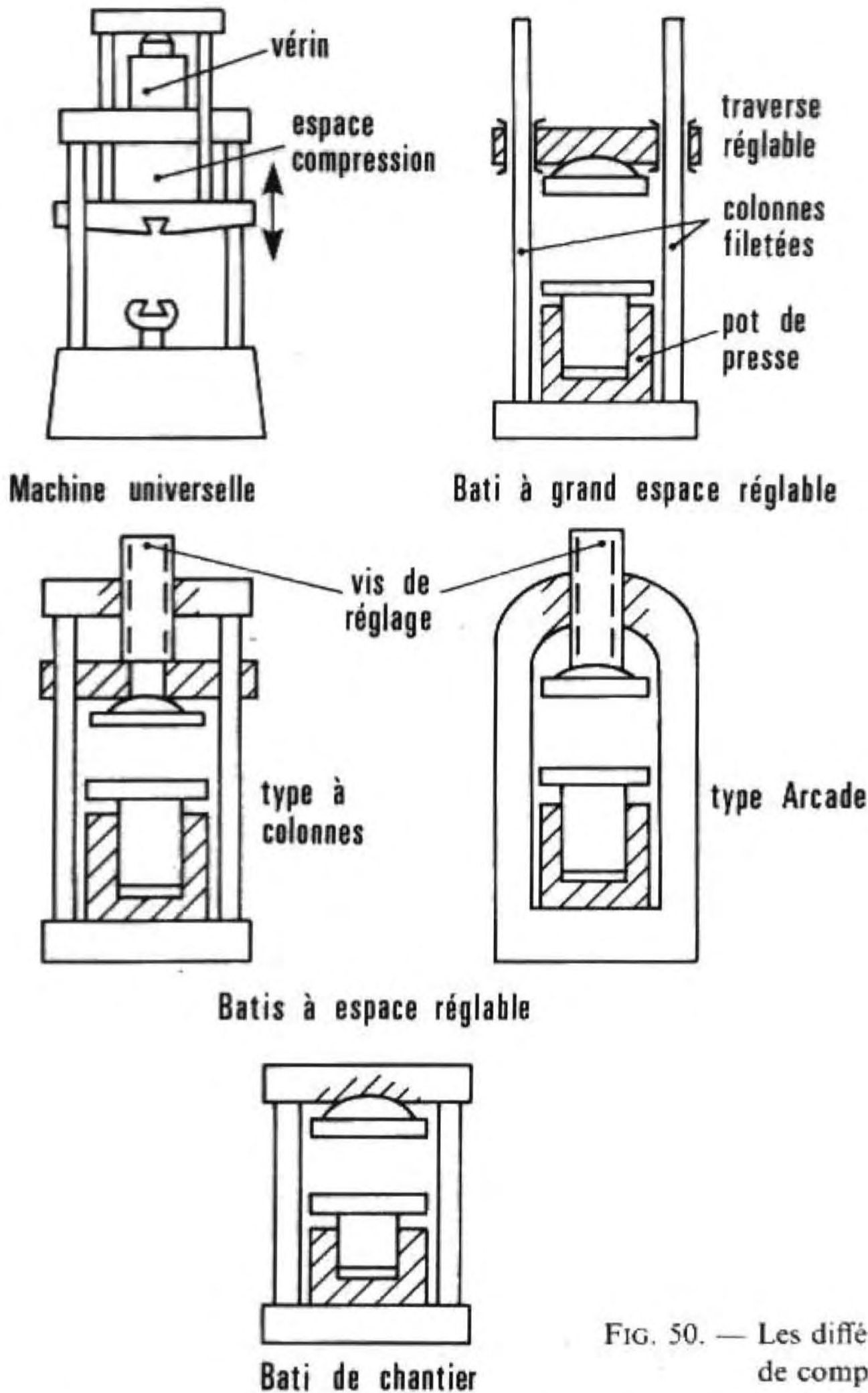


FIG. 50. — Les différents types de bâtis de compression.

On retiendra surtout que la raideur du bâti est importante. La raideur axiale, « presses molles ou dures », a une influence sur la rupture surtout lorsqu'il s'agit de rupture très fragile (béton de haute résistance).

La raideur transversale doit être maximale en raison des déformations non uniformes des éprouvettes (fig. 51 et 52).

2.6.2. Les plateaux

Ils doivent être rigides et présenter une dureté de la surface au contact de l'éprouvette de 55 Rockwell sur une épaisseur de 5 mm (NF P 18 412). Les faces de contact ne doivent pas être graissées ; elles sont généralement bien lisses.

FIG. 51. — Machine de compression « CONTROLS » de 1 500 KN \sim (150 T) pour laboratoire de chantier (Doc. EUROMATEST).



FIG. 52. — Machines de compression de 5 000 KN (\sim 500 T) et de flexion 300 KN (\sim 30 T) alimentées et commandées par un même groupe dynamométrique (Doc. PERRIER).

La planéité doit être parfaite. Suivant le type de défaut, l'incidence sur la rupture est différente (fig. 53) [16].

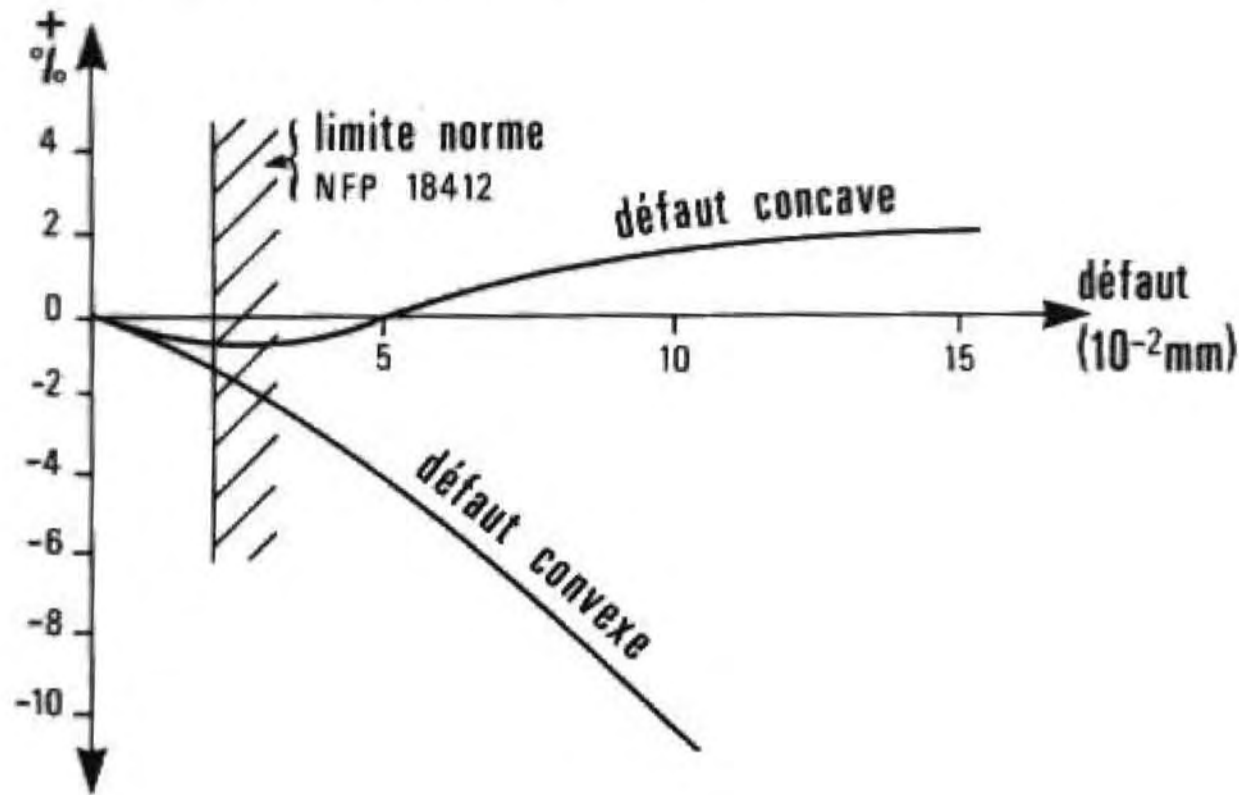


FIG. 53. — Pourcentage d'erreur sur la résistance en fonction du défaut de planéité sur 100 mm d'après D. G. COLE.

2.6.3. La mesure de force

L'étalonnage des différents dispositifs est une opération importante qui doit être faite par des spécialistes une fois par an ou à l'occasion de réparation ou de déplacement de la machine.

La norme NF P 18 411 indique notamment les valeurs d'erreur de justesse et de fidélité.

L'erreur de justesse, pour une valeur de force, correspond à l'écart constaté entre la moyenne des valeurs lues V_l et la valeur vraie V_v imposée ; elle s'exprime en pourcentage par rapport à la valeur vraie :

$$e_j = \pm \frac{V_l - V_v}{V_v} \times 100.$$

L'erreur de fidélité est égale à la moitié de la différence entre les valeurs lues maximale et minimale ; elle s'exprime également en pourcentage par rapport à la valeur vraie :

$$e_f = \pm \frac{1}{2} \frac{V_{l\max} - V_{l\min}}{V_v} \times 100.$$

TABLEAU XXIV — Classement des presses suivant les erreurs de justesse et de fidélité (NF P 18 411)

Classe de la presse	A	B	C
Erreur de justesse %	± 1	± 2	± 4
Erreur de fidélité %	± 0,5	± 1	± 2

Suivant ces valeurs, le tableau XXIV donne le classement *A, B, C*.

Il faut noter que l'étalonnage s'effectue dans des conditions idéales du fonctionnement de la machine; il ne préjuge donc pas de sa validité dans des conditions aléatoires d'utilisation.

2.7. Essai d'écrasement (NF P 18 406)

L'essai lui-même doit être conduit rigoureusement pour obtenir de bons résultats. On observera en particulier :

- un bon centrage de l'éprouvette;
- une vitesse de chargement donnée;
- la transcription immédiate du résultat et de tout renseignement utile.

Après un centrage parfait à l'aide d'un dispositif simple mais efficace, la mise en charge s'effectue avec une vitesse de montée en charge constante de 0,5 MPa (5 bars) par seconde \pm 0,2 MPa (2 bars) par seconde. La plupart des presses sont maintenant équipées d'un cadencemètre qui permet d'observer la vitesse prescrite.

Au moment de la rupture, ou peu avant celle-ci quand la déformation devient très importante, il est conseillé de ne pas ouvrir trop rapidement la vanne de chargement au risque d'obtenir des résultats aberrants et en tout cas, dispersés (fig. 54).

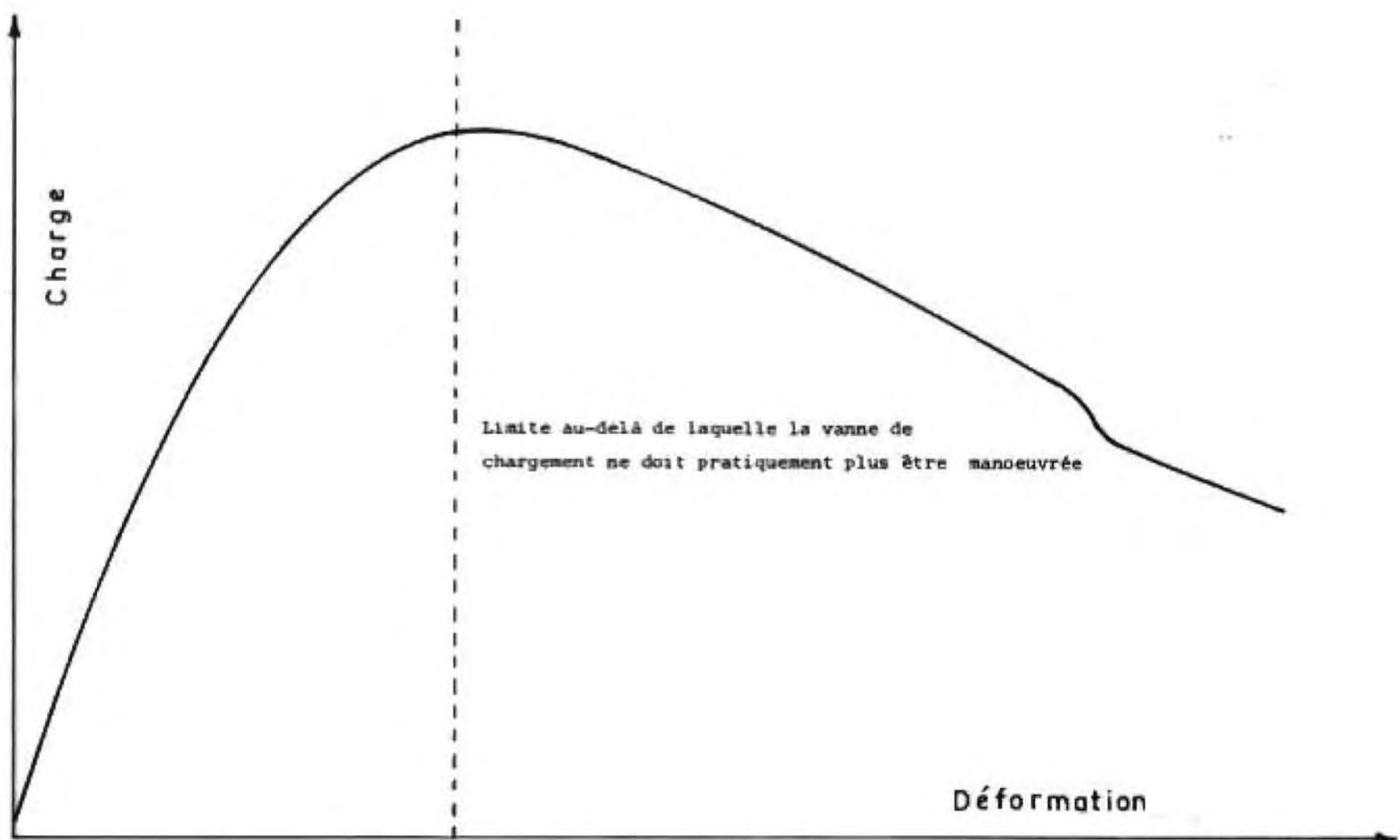


FIG. 54. — Courbe charge-déformation. Limite au-delà de laquelle la vanne de chargement n'est pratiquement plus manoeuvrée.

2.7.1. Évolution des dispositifs de mise en charge

Les techniques d'asservissement électro-hydrauliques se sont beaucoup développées ces dernières années pour les presses de laboratoire.

Le principe de cette technique repose sur un organe essentiel appelé servo-valve qui délivre un débit d'huile proportionnel à un micro-courant (quelques milliampères pour le débit nominal).

La programmation en fonction du temps peut s'opérer sur les *forces* ou sur les *déformations*.

Bien des essais sont actuellement en cours pour explorer au maximum les possibilités d'essais par le « pilotage » suivant les déformations de l'éprouvette essayée. Pour ce faire, l'extensomètre peut être disposé sur l'éprouvette ou entre plateaux; les deux solutions présentent des avantages et des inconvénients.

2.7.2. Aspect des éprouvettes après rupture

Avec le produit de surfaçage indiqué plus haut, la forme habituelle de rupture est en « diabolo » (fig. 55). Mais avec d'autres produits de surfaçage ou avec interposition de carton ou tout autre matériau, la forme de rupture n'est plus la même et des différences de résistance sont alors constatées. C'est ainsi qu'avec deux types de surfaçage on obtient des ruptures différentes comme indiqué sur la figure 56.

Il y a donc intérêt à ne pas changer inopinément le produit de surfaçage.



FIG. 55. — Forme de rupture normalement constatée avec le surfaçage au soufre.

Là encore des dispositifs nouveaux pourraient être employés. Des études et essais sont en cours à ce sujet. Il s'agirait de plateaux dont la surface de contact serait constituée d'une sorte de peigne. L'effet de frottement entre l'éprouvette et le plateau serait ainsi pratiquement éliminé; le surfaçage pourrait être supprimé.



FIG. 56. — Formes de rupture obtenues avec du soufre dans un cas et des plaques de néoprène dans l'autre. Les résistances sont différentes.

2.7.3. Éprouvettes de différentes dimensions et formes

Sauf dans les cas particuliers où des essais directs permettent d'établir des facteurs de conversion, on utilisera ceux proposés par le Sous/Comité ISO/TC/71SC1. Le cube de 15 et le cylindre de 15 sont pris comme éprouvettes de référence.

A. Cubes de différentes dimensions

$$\sigma'_{\text{cube } 15} = \frac{\sigma'_{\text{cube } x}}{\varphi_{\text{cube}}} \quad (\text{tableau XXV})$$

Le cube de 14 utilisé en France est assimilé au cube de 15.

TABLEAU XXV — Coefficients correcteurs à appliquer à la résistance de cubes d'arête différente de 15 cm

Cube de	10	15	20	25	30
φ_{cube}	1,10	1,00	0,95	0,92	0,90

$$\sigma'_{\text{cube } 15} = \frac{\sigma'_{\text{cube } x}}{\varphi_{\text{cube}}} \quad (\text{ISO})$$

B. Cylindres de différentes dimensions d'élançement 2

$$\sigma'_{\text{cyl. 15}} = \frac{\sigma'_{\text{cyl. x}}}{\varphi_{\text{cyl.}}} \quad (\text{tableau XXVI})$$

TABLEAU XXVI — Coefficients correcteurs à appliquer à la résistance de cylindres de diamètre différent de 15 cm

Cylindre de	10 × 20	15 × 30	20 × 40	25 × 50	30 × 60
$\varphi_{\text{cylindre}}$	1,02	1,00	0,97	0,95	0,91

$$\sigma'_{\text{cyl.}} = \frac{\sigma_{\text{cyl. x}}}{\varphi_{\text{cyl.}}} \quad (\text{ISO})$$

Les cylindres de 11 et 16 utilisés en France sont assimilés respectivement aux cylindres de 10 et 15 cm.

Dans les deux cas (cubes et cylindres), on remarque donc que plus l'éprouvette est de petite taille, plus la résistance obtenue est à minorer. Autrement dit, plus la section des éprouvettes est petite, plus la résistance est grande (à élançement égal).

Cette constatation est bien connue des praticiens du laboratoire ; le phénomène est dû en grande partie à l'effet de freinage sur les plateaux de la presse.

Il est à noter que la valeur 1,02 de φ , donnée pour le cylindre de 10 est à notre avis un peu faible ; des essais récents sur des bétons de 30 MPa (300 bars) donnent des valeurs de l'ordre de 1,10.

C. Relation entre cubes de 14 (ou 15) et les cylindres de 16/32 (ou 15/30)

$$\sigma'_{\text{cyl.}} = \frac{\sigma'_{\text{cube}}}{K}$$

avec $K = 1,25$ pour les résistances sur cubes inférieures ou égales à 25 MPa (250 bars)

et $K = 1,20$ pour les résistances sur cubes supérieures à 25 MPa (250 bars).

Une étude du C.S.T.C. [17] réalisée sur un assez grand nombre d'essais confirme bien ces valeurs ; pour trois dosages en ciment le coefficient K varie de 1,17 à 1,26 (tableau XXVII).

TABLEAU XXVII — Rapport de la résistance sur cube à la résistance sur cylindre (C.S.T.C.)

Dosage en ciment en kg/m^3	$K = \frac{\sigma'_{\text{cube}}}{\sigma'_{\text{cylindre}}}$
200	1,26
300	1,23
400	1,17

D. Influence de l'élanacement de l'éprouvette

Le coefficient $K = 1,20$ ou $1,25$ qui relie la résistance sur cube à la résistance sur cylindre correspond à des élanacements d'éprouvettes passant de 1 pour le cube à 2 pour le cylindre.

Mais il arrive assez fréquemment, notamment dans le cas du carottage, que l'élanacement soit quelconque. Son influence augmente très rapidement dans le cas d'une éprouvette dont la hauteur est inférieure à la dimension transversale (arête ou diamètre).

En prenant comme référence la résistance du cylindre normalisé d'élanacement 2, la résistance relative passe de 1 à 1,5 environ pour un cylindre dont la hauteur est moitié de son diamètre (fig. 57).

D'après des essais réalisés à Saint-Rémy, il semble bien que seul l'élanacement soit en cause, la forme de la section n'étant pas influente.

Pour un même béton, nous avons obtenu la même résistance entre des cylindres de 16 cm de diamètre (200 cm^2) et 14 cm de hauteur et des cubes de 14 cm (200 cm^2).

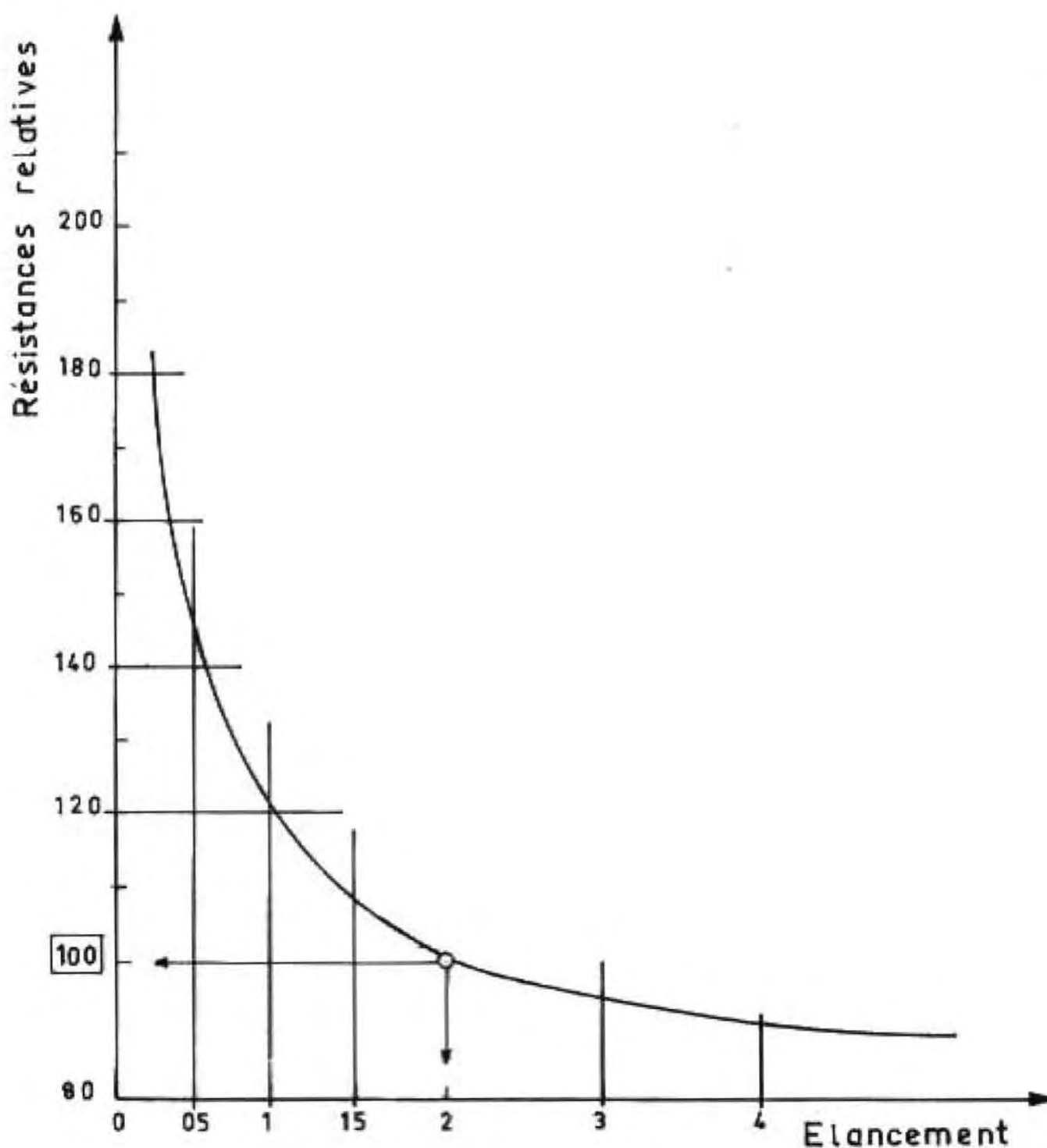


FIG. 57. — Variation de la résistance relative probable à la compression en fonction de l'élanacement de l'éprouvette.

3. RÉSISTANCE A LA TRACTION

Pour la mise en œuvre des éprouvettes cylindriques en vue des essais de traction directe et de fendage, la confection des éprouvettes est réalisée de la même façon que pour les essais de compression (§ 6.2.3).

En ce qui concerne les moules prismatiques pour la traction par flexion, la vibration et le piquage seront réalisés également à l'aide de l'aiguille de 25 mm suivant les prescriptions de la norme NF P 18 422. La figure 45 indique les temps de vibrations en chacun des trois points pour les prismes $10 \times 10 \times 40$ cm.

La conservation est bien entendu identique pour toutes les éprouvettes. Trois types d'essais sont normalisés en France :

- la traction directe sur cylindres ou sur prismes ;

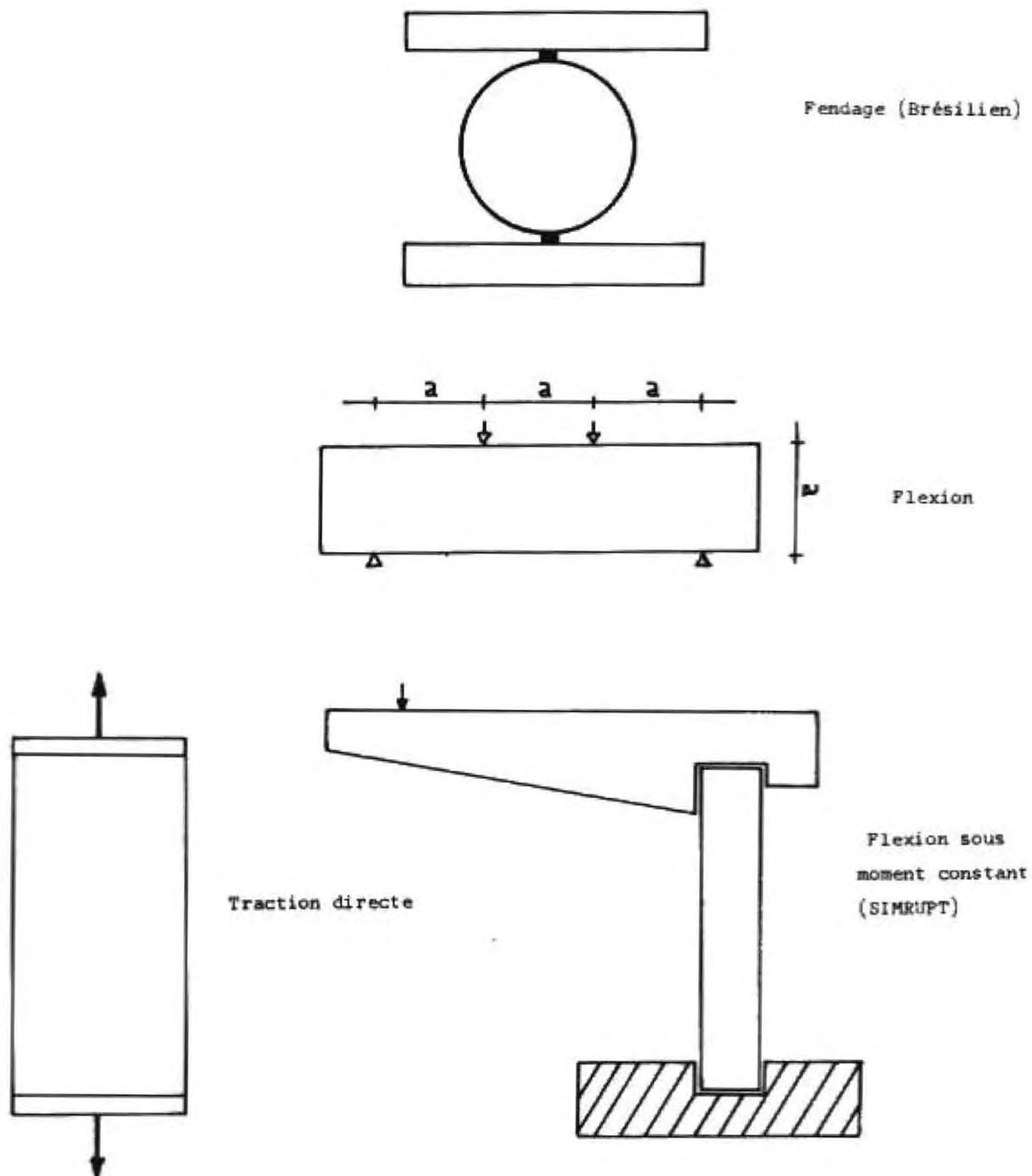


FIG. 58. — Schémas des différentes sollicitations en traction.

- la traction par flexion ;
- la traction par fendage.

Les sollicitations respectives sont celles représentées schématiquement sur la figure 58.

3.1. Essai en traction directe (NF P 18 409)

Après sciage des extrémités sur 2 cm, des plaques métalliques sont collées à la résine époxy à chaque extrémité. D'autres plaques avec rotule et tiges de traction sont boulonnées sur les premières afin de disposer l'ensemble dans les mors d'une machine de traction.

La contrainte de rupture en traction est donnée par :

$$\sigma = \frac{P}{S}$$

avec P : charge de rupture,
 S : la section exacte de l'éprouvette.

Cet essai, satisfaisant sur le plan théorique, a deux défauts principaux :

1) Il est assez dispersé dans ses résultats, ceci en raison du sciage des extrémités qui crée un affaiblissement dans ces zones ; les ruptures se produisent en effet, assez souvent, dans la zone du collage.

2) Il est très onéreux : les opérations de sciage et de collage rendent pratiquement l'essai irréalisable pour le contrôle courant du béton d'un ouvrage. Il est surtout utilisé comme référence en laboratoire.

3.2. Essai de traction par flexion (NF P 18 407)

Le plus connu et le plus utilisé des trois essais, il permet de reproduire le type de sollicitation en traction le plus fréquent : la flexion. Mais il faudrait réaliser autant de sections d'éprouvettes qu'il y a de sections fléchies dans les ouvrages. On aurait en effet, ainsi, une idée valable sur la contrainte de fissuration probable dans l'ouvrage (fig. 58 bis).

Il est pourtant nécessaire de se contenter d'un essai sur éprouvettes dont le côté de la section carrée varie (7, 10, 14 et 20 cm) suivant la dimension maximale du granulats employé (tableau XXVIII).

Si la charge de rupture est F en daN et a le côté de la base, la contrainte de rupture en traction par flexion est :

$$\sigma = \frac{1,8 F}{a^2}$$

TABLEAU XXVIII — Côté de la section des moules prismatiques à employer

Dimension <i>D</i> du granulat Normalement par dérogation	≤ 20 mm	≤ 31,5 mm	≤ 40 mm
	≤ 25 mm	≤ 40 mm	≤ 50 mm
Prisme de	10	14	20
Aiguille de	25	25	37
Mise en place	En une seule couche		



FIG. 58 bis. — Machine de flexion de 150 KN (~ 15 T).

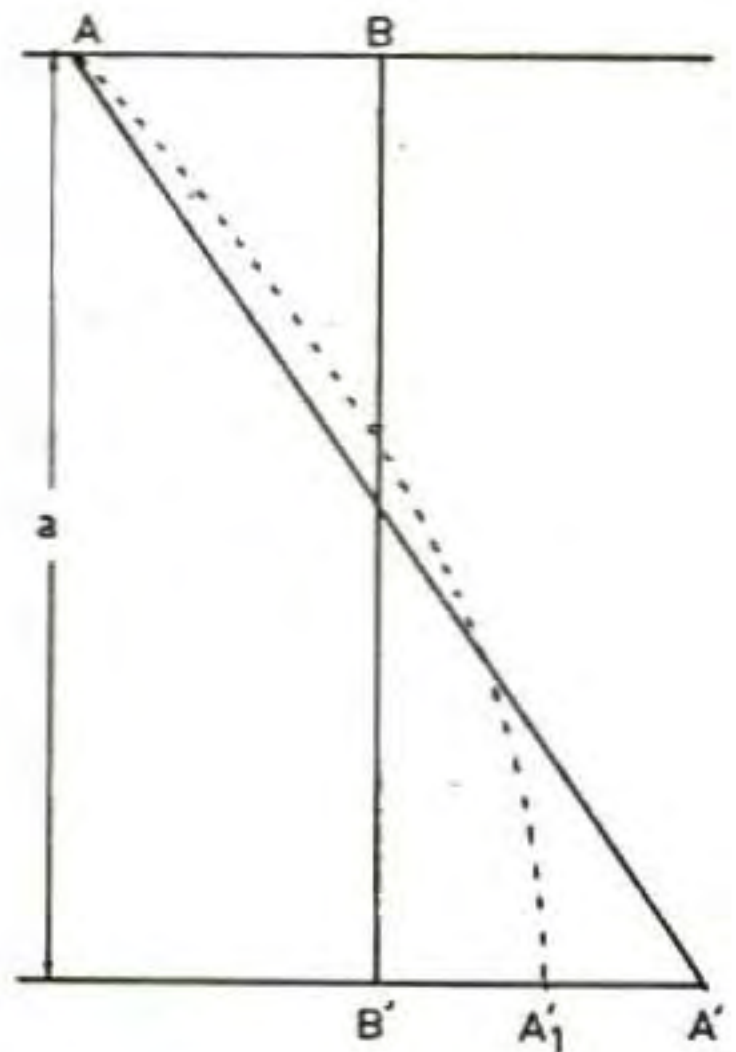


FIG. 59. — Diagramme des contraintes dans une éprouvette de béton fléchi.

Ceci suppose que la contrainte $\frac{Mv}{I}$ est affectée d'un coefficient 0,6.

G. Dreux explique : « On tend ainsi à rapprocher cette valeur de celle de la contrainte en traction pure ; ceci s'explique par le fait que l'application de la loi de Hooke qui donnerait le diagramme de contrainte AA' avec :

$B'A' = \frac{Mv}{I}$, n'est plus applicable lorsqu'on arrive à rupture et que le diagramme réel est vraisemblablement de la forme AA_1 avec $B'A_1 \simeq 0,6 B'A'$ en supposant une sorte de plastification en traction précédant la rupture » (fig. 59).

Mais cette valeur expérimentale 0,6 qui est peut-être valable en moyenne pour les prismes $7 \times 7 \times 28$, ne l'est plus pour d'autres sections. De plus, dans une même section, le changement de dimension de granulats ferait varier ce coefficient.

Par ailleurs, pour les prismes de trop petite section, le compactage du béton engendre une ségrégation et un ressuage importants, notamment lors du lissage.

3.3. Essai de traction par fendage (NF P 18 408)

Dit « Essai Brésilien » quand il est réalisé sur cylindre, cet essai consiste à rompre le cylindre entre les deux plateaux d'une presse de compression suivant deux génératrices opposées. Dans certains pays, le fendage est effectué sur cube également.

Le contact des plateaux avec le cylindre est réalisé par l'intermédiaire de réglettes de contre-plaqué de 5 mm d'épaisseur ; leur largeur est du $1/10$ du diamètre du cylindre. Un centrage parfait est nécessaire.

D'une façon générale, les moules carton ne permettent pas le moulage d'éprouvettes pour les essais de fendage en raison des spires du carton qui laissent des inégalités le long des génératrices.

La résistance à la traction est donnée par la formule :

$$\sigma = \frac{2P}{\pi DL}$$

avec P charge de rupture D diamètre du cylindre, L longueur du cylindre.

Cet essai donne des résultats un peu optimistes par rapport à la valeur vraie de la résistance à la traction directe, déterminée dans de bonnes conditions.

Il semblerait que l'excès de résistance soit de l'ordre de 8 à 10 %.

Quelques avantages sont reconnus dans l'essai de fendage :

1) On utilise les mêmes moules et les mêmes presses que pour la compression.

2) Du fait de leur volume plus important, les éprouvettes (cylindres de 200 cm^2 le plus souvent) sont plus représentatives.

3) Des essais peuvent être réalisés sur des carottes prélevées dans l'ouvrage, à condition toutefois qu'elles soient très régulières.

3.4. Choix d'un essai

Quand le choix d'un essai conventionnel de traction est à faire, notre préférence va plutôt à l'essai de fendage pour des raisons économiques entre autres.

3.5. Relation compression-traction

Quand les éprouvettes destinées à l'essai de résistance à la traction font défaut, on utilise une formule simple reliant la résistance à la traction à celle de la compression :

$$\sigma_j = 6 + \frac{6 \sigma'_j}{100} \quad \text{pour le béton traditionnel,}$$

$$\sigma_j = 5 + \frac{5 \sigma'_j}{100} \quad \text{pour le béton de granulats légers de structure}$$

3.6. Machines d'essai pour la traction

L'ensemble des indications données pour les presses dans les essais de compression vaut pratiquement pour les essais de traction. Il faut cependant bien noter que les efforts nécessaires sont plus faibles pour la traction (1/12 environ de la compression). La remarque concerne principalement les presses à double usage (compression et fendage en particulier) pour lesquelles plusieurs sensibilités adaptées sont nécessaires.

4. ESSAIS ET MESURES DE POROSITÉ, PERMÉABILITÉ, CAPILLARITÉ

Nous avons groupé ces trois essais en raison de l'interdépendance des phénomènes physiques qui les entraînent.

En effet, un béton sera d'autant plus perméable et aura une possibilité d'absorption capillaire plus importante, qu'il sera plus poreux.

Rappelons que la porosité se rencontre sous deux formes :

— *la porosité fermée* dans le cas où les pores ne communiquent pas entre eux et avec l'extérieur ; elle est principalement formée par une partie de la porosité des granulats et par l'air occlus dans le béton ;

— *la porosité ouverte* dans le cas où les pores communiquent entre eux et avec l'ambiance extérieure au béton ; elle est formée par une partie de la porosité des granulats et par les micro-canaux laissés par le départ d'une partie de l'eau de gâchage du béton. La porosité ouverte est bien entendu celle qui doit préoccuper le plus les constructeurs en béton. C'est elle qui favorise plus ou moins :

- le cheminement des agents agressifs vers les armatures ;
- le retrait hydraulique ;

- la gélivité ;
- la perméabilité ;
- les résistances basses, etc.

La somme des deux porosités constitue, bien entendu, la *porosité totale* (fig. 60).

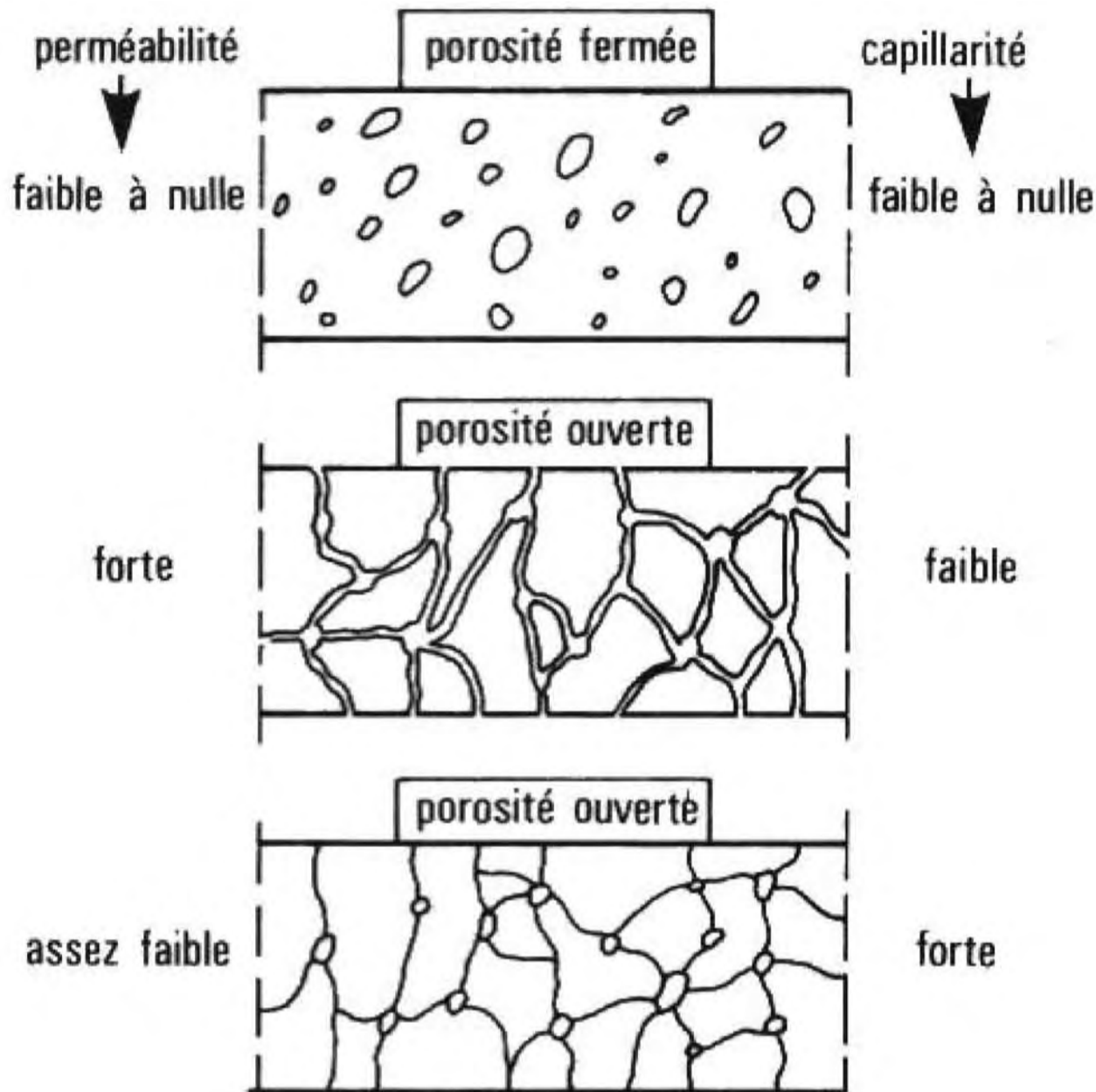


FIG. 60. — Schéma des principales structures d'un matériau poreux [7].

La plupart des mesures dont il va être question se réalisent en laboratoire car elles nécessitent un personnel qualifié et un matériel élaboré.

4.1. Mesure de la porosité totale

Les essais se réalisent soit par broyage de l'échantillon de béton, soit par mesure sous vide avec absorption d'eau, les deux méthodes donnant des résultats sensiblement identiques.

On peut retenir les valeurs suivantes pour les bétons traditionnels (tableau XXIX) :

Le coefficient de compacité représente la différence entre le volume unitaire apparent et le volume des vides (porosité).

Il varie donc dans les limites de 0,75 à 0,90.

TABLEAU XXIX — Valeurs moyennes de porosité totale

Qualité du béton	Porosité en % du volume
Excellent	10 à 11 %
Bon	12 à 15 %
Satisfaisant	16 à 18 %
Médiocre	19 à 22 %
Mauvais et très mauvais	> 22 %
On a pu constater des porosités de 30 %	

4.2. Mesure de la porosité ouverte

Elle consiste essentiellement en des mesures d'absorption d'eau à la pression atmosphérique.

4.2.1. Mesure de l'absorption capillaire

Déshydratée à l'étuve, l'éprouvette moulée ou prélevée dans l'ouvrage subit un sciage sur une face et un traitement imperméabilisant sur les autres faces (résine époxy ou paraffine). L'éprouvette est ensuite posée dans un bac contenant du sable saturé d'eau sur sa face sciée (fig. 61).

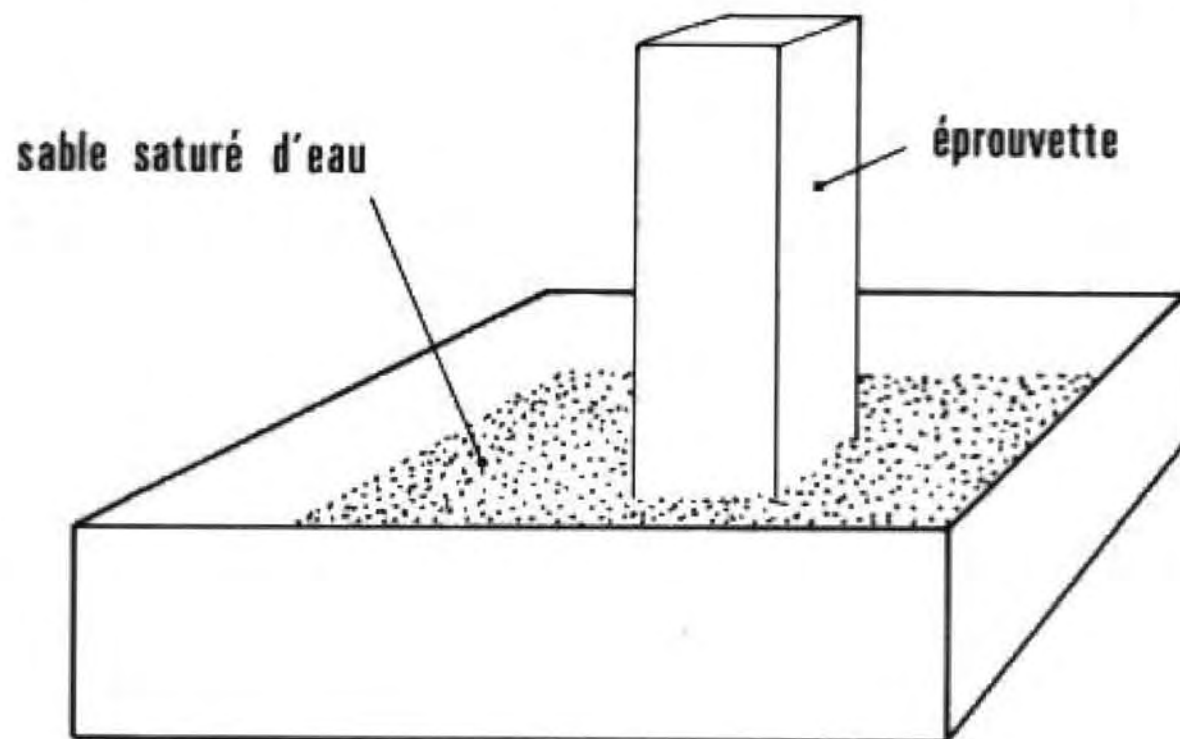


FIG. 61. — Mesure de l'absorption capillaire.

On mesure ensuite, en fonction du temps, l'accroissement du poids de l'éprouvette dû à la montée capillaire de l'eau.

L'absorption d'eau est souvent représentée en poids par unité de surface absorbante (g/cm^2) en fonction du temps (\sqrt{t} avec t en heures).

Quand il s'agit de mesures comparatives en fonction de certains paramètres, elle est exprimée à 72 h par :

$$A.C. = \frac{100 P}{S \sqrt{t}}$$

avec P poids d'eau absorbée,

S surface sciée de l'éprouvette en contact avec l'eau.

A titre d'exemple, nous avons représenté sur la figure 62 l'absorption capillaire en % en fonction du module de finesse du sable (1,52 : sable très fin ; 3,76 : sable grossier). L'eau totale du béton a varié de 195 à 220 l/m³. On remarque un minimum d'absorption pour le béton confectionné avec un sable moyen ($MF = 2,56$).

Conformément à ce que nous avons énoncé au chapitre 4, la granularité du sable est primordiale pour les qualités du béton en général.

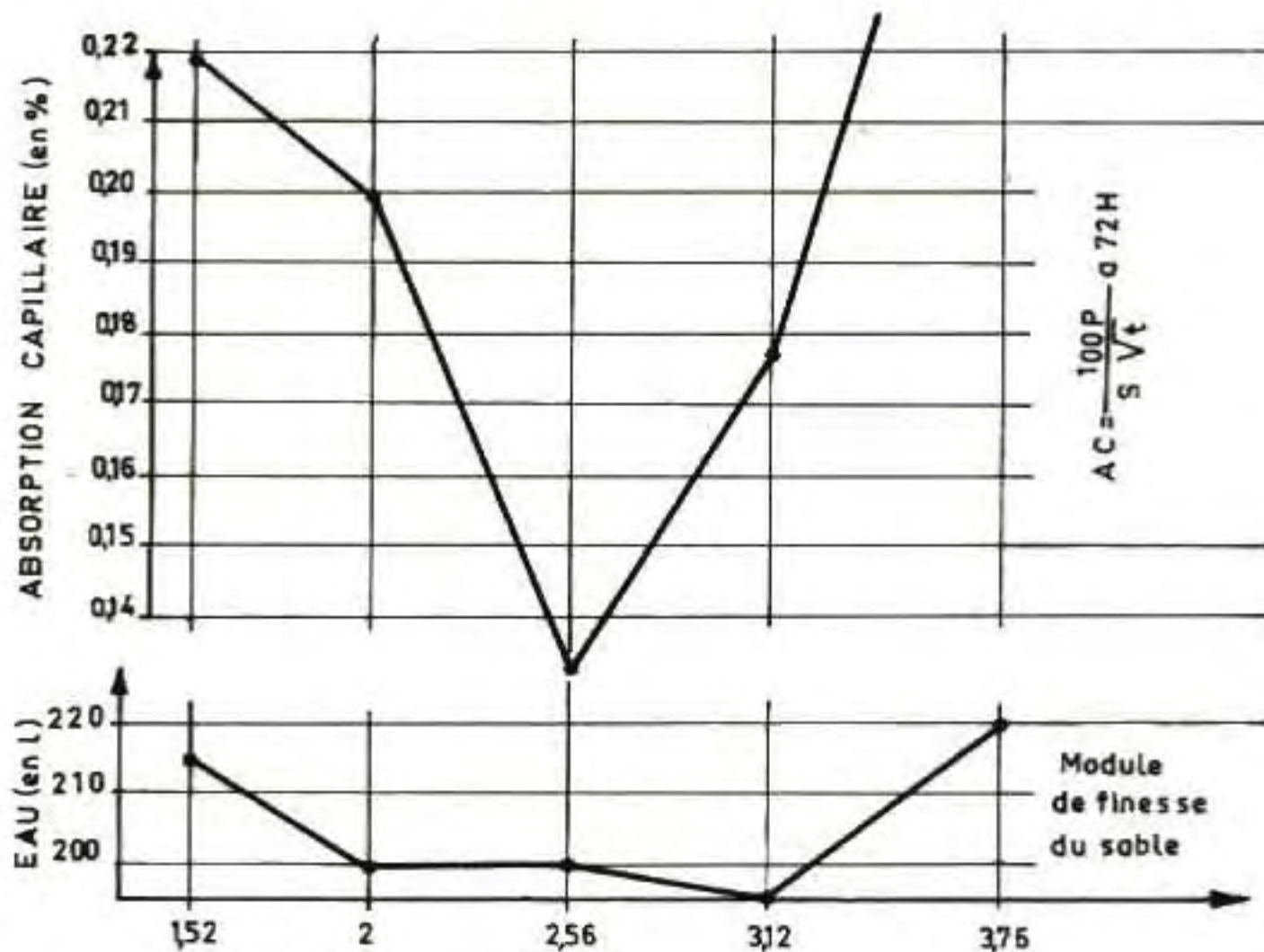


FIG. 62. — Absorption capillaire de bétons confectionnés avec des sables de granularité différente.

4.3. Mesure de la perméabilité

Après sciage de tronçons de 5 cm d'épaisseur découpés dans les cylindres 16 × 32, elle est réalisée à l'aide d'un perméamètre.

Le perméamètre, qui peut comporter plusieurs cellules de mesure, permet d'appliquer une pression de liquide sur une des faces de l'éprouvette. Le liquide employé est souvent du kérosène (fig. 63 et 64).

Deux caractéristiques sont mesurées pour déterminer la perméabilité :

1. le temps d'apparition des premières gouttes sur la face opposée de l'éprouvette ;

2. le débit maximal en régime permanent d'écoulement. La vitesse de débit V (débit à travers une surface égale à l'unité) d'un matériau est caractérisée par la relation de Darcy :

$$V = K \frac{dh}{dl}$$

$\frac{dh}{dl}$ est le gradient hydraulique, c'est-à-dire la perte de charge par unité de longueur de parcours de l'eau à travers le corps perméable.

K est le coefficient de perméabilité ; il a les dimensions d'une vitesse.

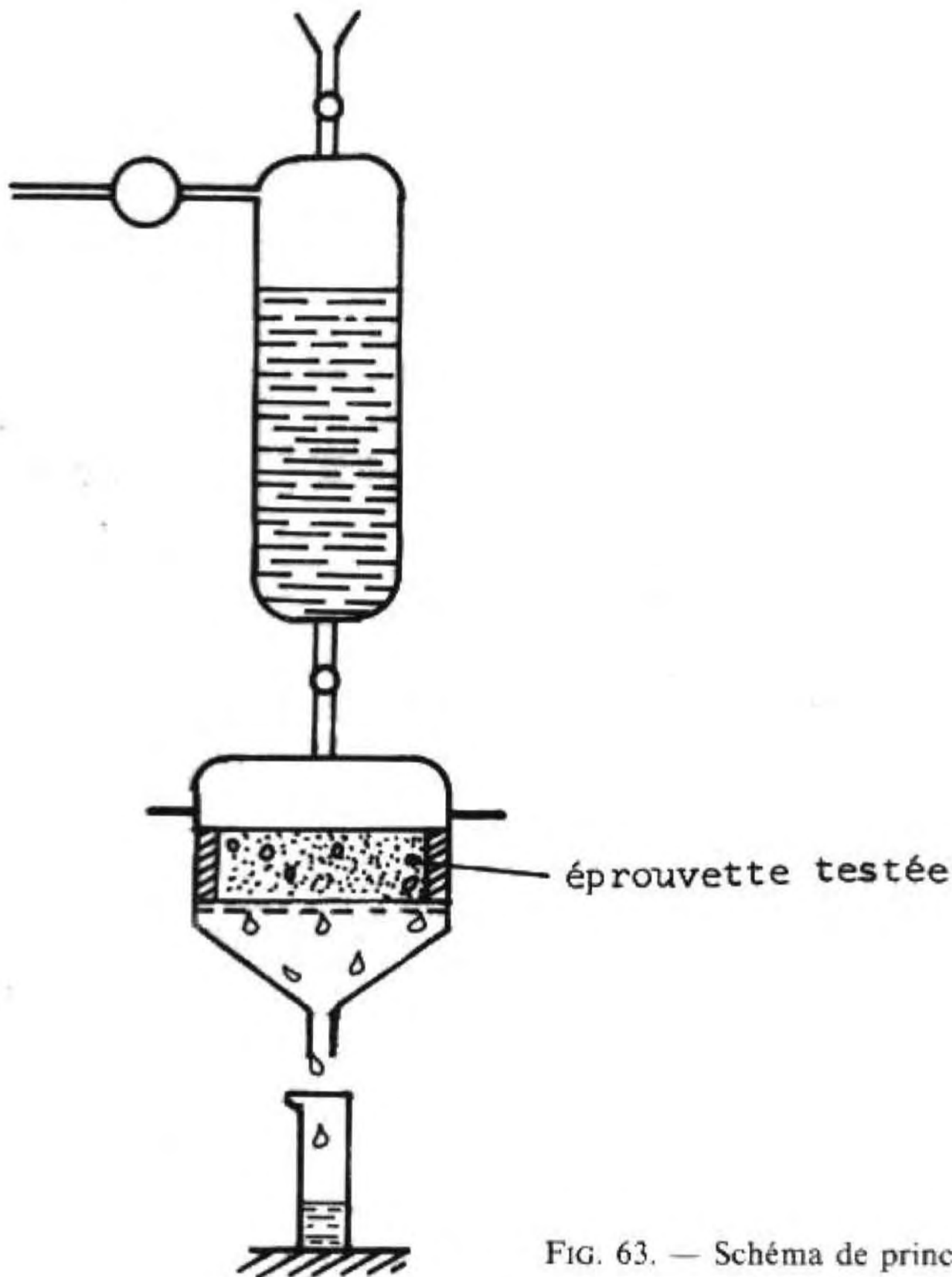


FIG. 63. — Schéma de principe du perméamètre.

On peut juger, à titre d'exemple d'utilisation, de l'influence de la finesse du sable sur la perméabilité du béton. Sur la figure 65, on remarque que la perméabilité sous 15 et 20 bars, est minimale pour les sables à modules de finesse voisins de 2,5.

Ce résultat tient essentiellement au fait que la quantité d'eau a été minimale pour les bétons dont les modules de finesse sont moyens. L'étude était en effet réalisée à consistance constante. On notera donc à nouveau l'importance de la granularité du sable sur les qualités du béton (chapitre 4.2.2.5.1) [10].

La pression de liquide exercée sur l'éprouvette pour les essais varie de 0 à 25 bars. Suivant la destination du béton, liée au type d'ouvrage envisagé, la pression à réaliser sera choisie.

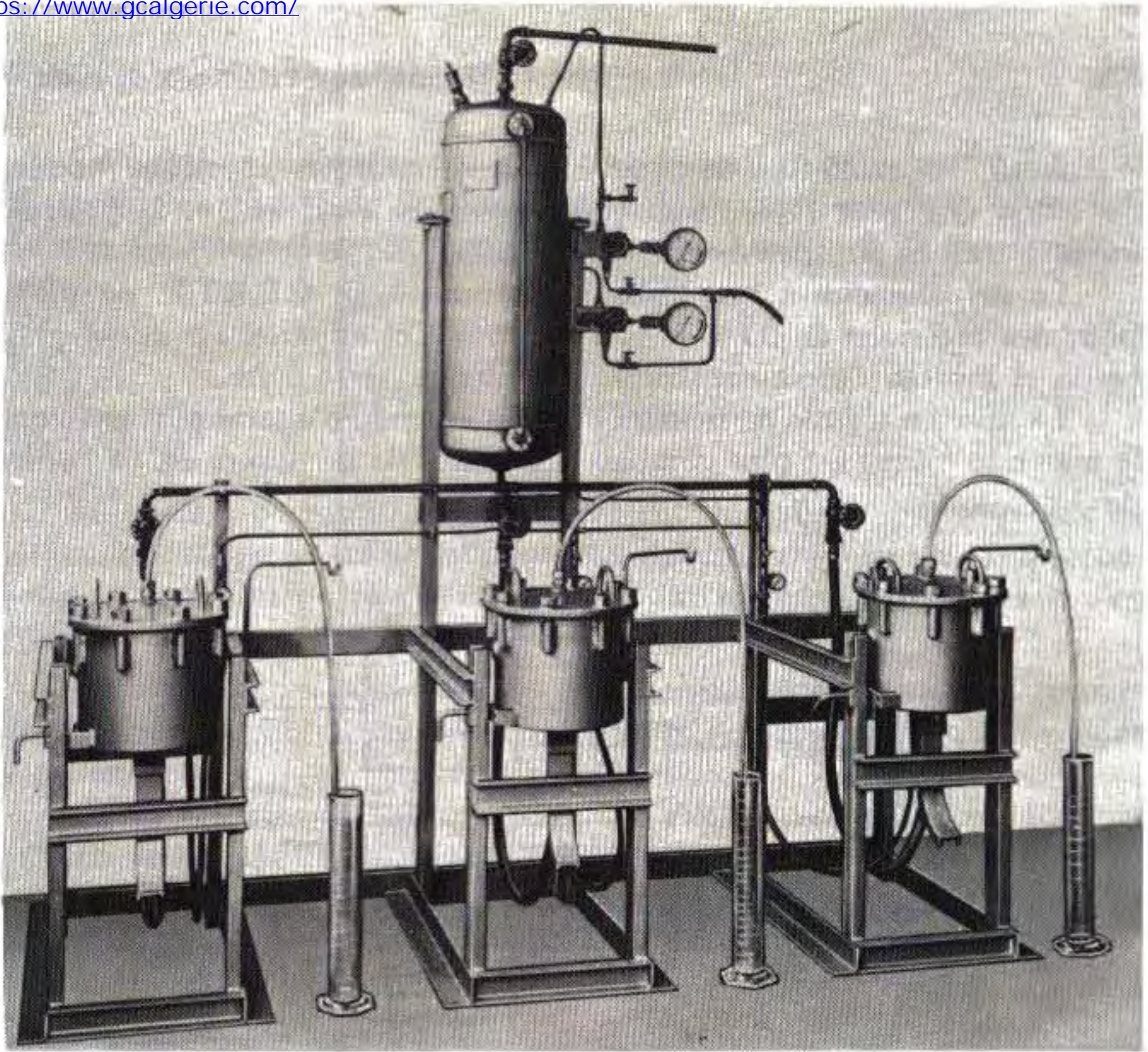


FIG. 64. — Vue d'un perméamètre à béton à trois échantillons (DOC. PERRIER).

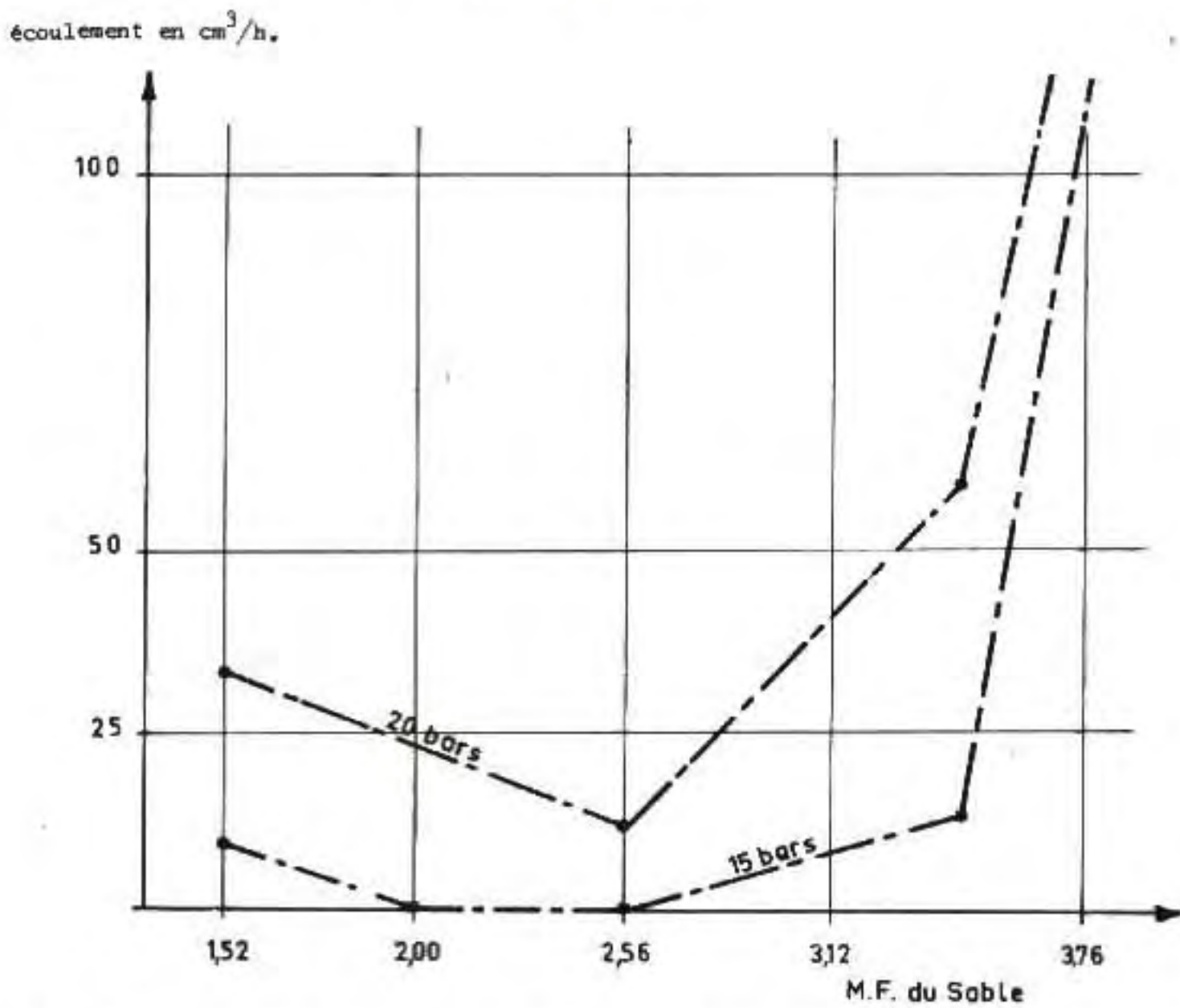


FIG. 65. — Perméabilité sous 15 et 20 bars de kérosène pour des bétons dont la granularité du sable varie.

Avec l'augmentation de pression, les phénomènes physiques internes du béton changent rapidement puisque, après avoir atteint la porosité ouverte, c'est la porosité fermée qui est sollicitée (§ 6.4).

Le perméamètre à eau utilisé couramment au C.E.B.T.P. est prévu pour des pressions de 0,1 à 3 bars (fig. 66). Cet appareil est utilisé pour béton et mortier de ciment, béton bitumineux, terre cuite...

La mise en régime permanent est bien entendu d'autant plus lente que le matériau essayé est plus compact. Le temps de la mesure est de l'ordre de 3 à 5 jours.

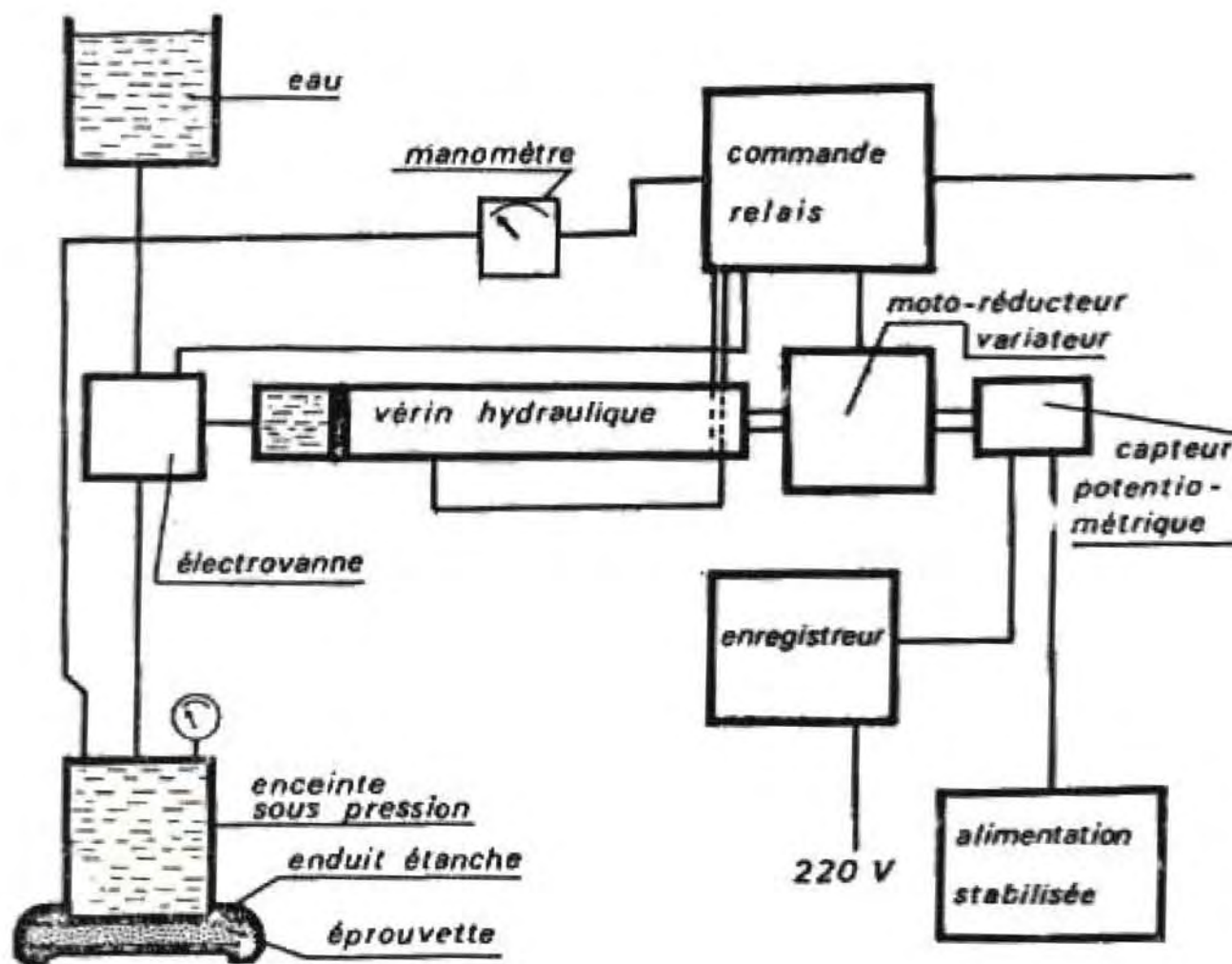


FIG. 66. — Schéma de principe du perméamètre basse pression du C.E.B.T.P. (Division Matériaux Bitumineux).

5. RETRAIT-GONFLEMENT

Rappelons tout d'abord qu'il s'agit essentiellement de la mesure du retrait hydraulique qui se produit dans le temps par départ d'eau.

Le retrait du béton dans les premières heures est cependant très important. Dans certains cas, il peut être du même ordre, voire dépasser, la valeur du retrait hydraulique.

Des appareils spéciaux permettent de le mesurer également.

Quant au gonflement, il est influencé d'une part dans les premières heures après le bétonnage par le dégagement de chaleur lors de l'hydratation du ciment (gonflement thermique) et d'autre part, dans le cas d'une réhydratation du béton (gonflement hydraulique).

Le retrait et le gonflement hydrauliques sont essentiellement fonction de l'humidité relative de l'ambiance dans laquelle se trouve le béton. Les fissures de retrait sont accentuées dans une ambiance de conservation sèche.

5.1. Mesure

La mesure du retrait et du gonflement se réalise sur éprouvettes de toutes dimensions ou sur partie d'ouvrage directement. Dans le cas d'éprouvettes, il y a lieu de respecter la meilleure représentativité possible en réalisant des éprouvettes de dimensions suffisantes.

Pour les études comparatives en laboratoire, on a souvent recours aux prismes $7 \times 7 \times 28$ cm pour lesquels il existe des rétractomètres vendus à cet effet.

De toutes manières, les mesures et l'exploitation des résultats sont l'affaire de personnes compétentes disposant d'un laboratoire équipé.

Comme pour le ciment, les essais sur béton sont réalisés dans l'air à 50° C pour le retrait et dans l'eau à 20° C pour le gonflement.

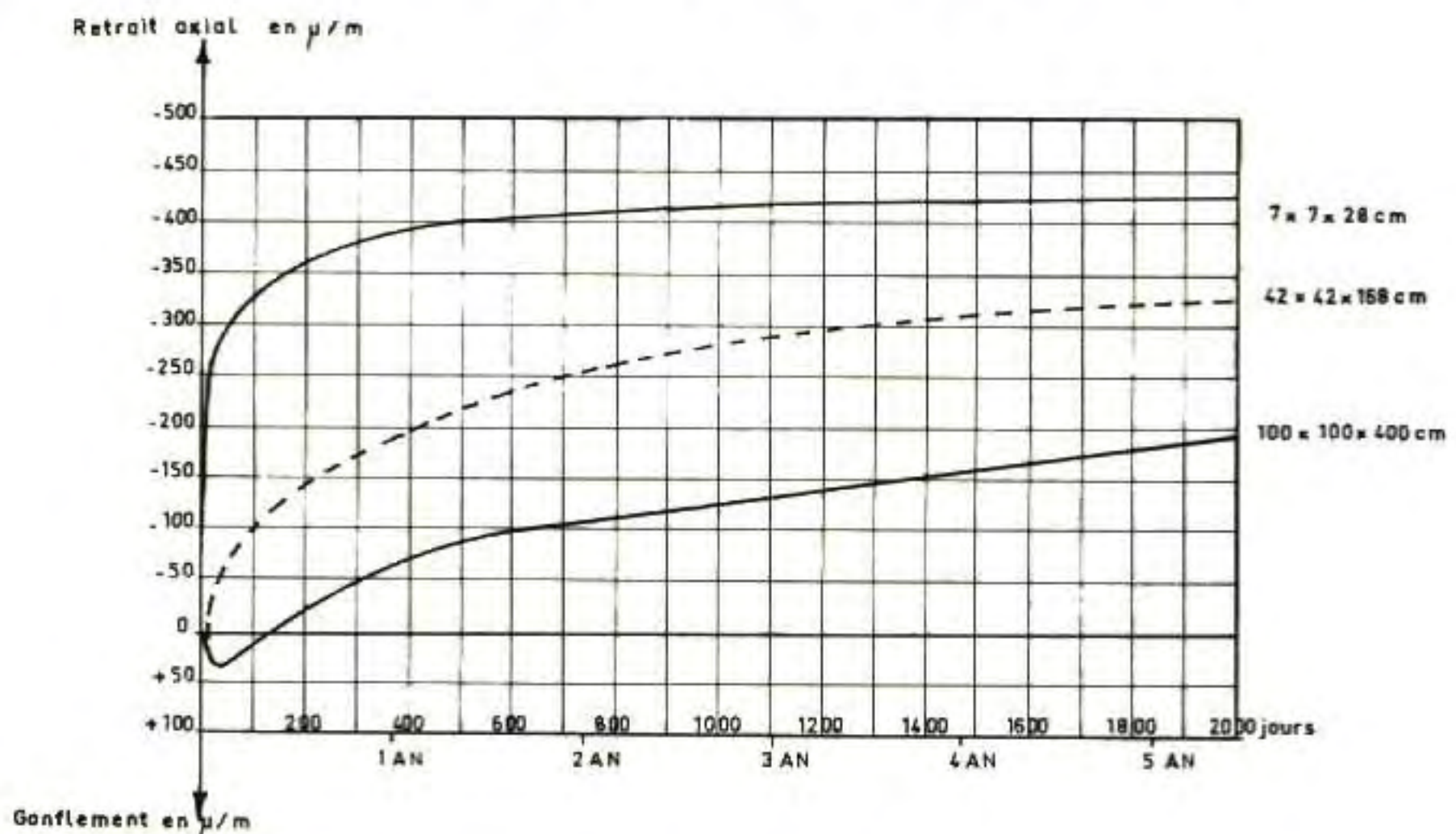


FIG. 67. — Évolution du retrait en fonction des dimensions des pièces [18].

Les dimensions de la structure (ou de l'éprouvette) influent très nettement sur la valeur du retrait puisque, en passant d'un prisme $100 \times 100 \times 400$ cm à un prisme $7 \times 7 \times 28$ cm, le retrait axial à 2 000 jours passe de 150 à 420 μ/m (fig. 67). Par ailleurs, le retrait axial a une évolution très différente du retrait mesuré en surface pour les pièces massives [18].

6. GÉLIVITÉ

Il s'agit de la possibilité de gel du béton complètement ou presque complètement durci et non du gel qui peut survenir dans les premières heures après le bétonnage pour des températures de 0 à -10°C .

Nous considérons donc ici le comportement du béton face aux cycles gel/dégel pour des températures très basses de l'ordre de -20°C ou en dessous, en fonction des caractères propres du béton. Les principaux paramètres à retenir sont :

- le rapport E/C ;
- la porosité et l'altérabilité des granulats ;
- les moyens de mise en œuvre...

L'ensemble de ces paramètres influencent directement la porosité du béton, ce qui nous permet de dire que la gélivité est très liée à la porosité.

6.1. Mesure de la gélivité

Les éprouvettes sont soumises à des cycles gel/dégel (-15°C + 18°C). Les températures indiquées ainsi que le nombre de cycles ne sont normalisés que pour les pierres.

En ce qui concerne le béton, les températures peuvent varier davantage (-25°C , $+20^{\circ}\text{C}$) par exemple en fonction du climat auquel sera soumis le béton. Le nombre de cycles peut aller jusqu'à destruction complète du matériau dans sa masse.

L'auscultation dynamique par vitesse du son est particulièrement adaptée à la mesure de gélivité ; elle permet de limiter le nombre d'éprouvettes par rapport aux méthodes d'essai destructives et d'utiliser ainsi des enceintes climatiques de volume raisonnable. En effet, les mêmes éprouvettes sont soumises à tous les cycles gel/dégel, jusqu'à destruction si nécessaire, puisque la mesure de vitesse du son n'altère pas la qualité du matériau testé.

De plus en plus on utilise la méthode d'auscultation par raisonnement. Un exemple est donné sur la figure 68 où l'on voit apparaître la ruine du béton peu avant 150 cycles de 12 h gel/dégel à $+5^{\circ}\text{C}$ dans l'eau, -15°C dans l'air d'un béton de ciment CPA 400 et $E/C = 0,6$.

La détection d'un béton gelé dans un ouvrage est très facilement réalisable par les méthodes d'auscultation dynamique. La vitesse du son chute assez rapidement quand le béton ausculté est poreux, ce qui est le cas du béton qui a subi des dégradations par le gel.

Une recommandation de la RILEM (RILEM/CDC 1/1977) a été rédigée. Elle concerne les méthodes d'essais de gel/dégel sans dégivrants chimiques.

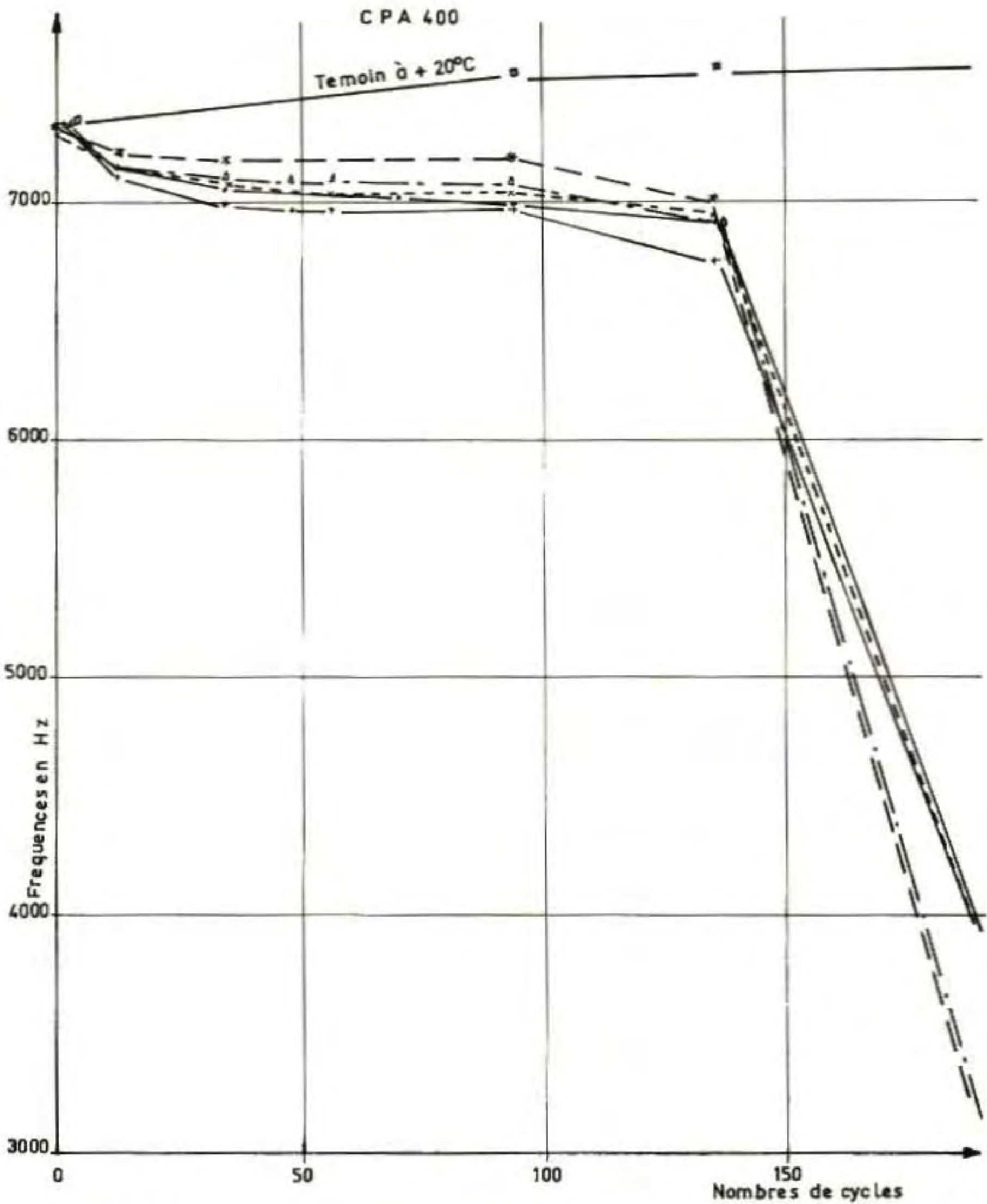


FIG. 68. — Fréquence de résonance obtenue sur éprouvettes en fonction du nombre de cycles gel/dégel. La destruction se manifeste peu après 150 cycles dans le cas présent.

7. DÉTERMINATION DU DOSAGE EN CIMENT

Dans le cas d'un litige pour lequel la qualité du béton est mise en cause, il est assez fréquemment fait appel à la détermination du dosage en ciment. Les essais sont faits sur un échantillon de béton durci prélevé dans la partie d'ouvrage incriminée.

Ce type d'essai relève bien entendu du laboratoire qui opère par procédés chimiques après broyage de l'échantillon. La détermination du dosage en ciment est accompagnée de la mesure de densité et de porosité totale.

7.1. Précision des mesures

Le dosage réel en ciment est donné à ± 10 % près. La précision sur le dosage indiqué dépend de la connaissance de la nature du ciment et des granulats employés.

8. MODULE D'ÉLASTICITÉ

Grâce aux progrès réalisés en extensométrie à l'aide de l'électronique, les mesures deviennent assez courantes aujourd'hui.

Sur éprouvette, le module d'élasticité statique en compression est déterminé soit par différence de valeurs de déformation obtenues par chargements successifs (projets RILEM et ISO), soit graphiquement après tracé de la courbe « contrainte-déformation ».

Rappelons que, par définition, le module élastique est la valeur de la pente à l'origine de la courbe « contrainte-déformation » $E = \frac{\sigma'}{\varepsilon'}$, ε' étant la déformation relative $\frac{\Delta l}{l}$ correspondant à une contrainte σ' donnée. E a les dimensions d'une contrainte (bar, MPa) étant donné que la déformation $\frac{\Delta l}{l}$ est relative (sans dimension).

Le module est utilisé principalement dans les calculs de flèche et de raccourcissement à la mise en précontrainte.

Il est compris entre 25 000 MPa (250 000 bars) et 45 000 MPa (450 000 bars) pour le béton traditionnel suivant la résistance à la com-

pression. Pour le béton de granulats légers de structure, il est de moitié environ par rapport à celui du béton traditionnel :

$$E_{\text{léger}} \simeq 0,5 E_{\text{traditionnel}} \text{ de même résistance à la compression.}$$

En l'absence de détermination expérimentale, des formules relient le module statique instantané à la résistance (tableau XXX).

Au regard des valeurs obtenues dans le tableau XXX, il apparaît une surestimation du module obtenu par la formule du CCBA 68 ①.

A partir de nombreux résultats, nous avons pu établir une relation qui semble beaucoup mieux adaptée ②.

Dans le cas d'une conservation plutôt sèche, le module est sensiblement moindre $E_{b_{\text{sec}}} = E_{b_{\text{hum}}} - 30\,000$ environ.

TABLEAU XXX — Les différentes expressions du module élastique en fonction de la résistance

Origine	Formule	Unité	Valeur approchée de E pour :		
			$\sigma' = 20$ MPa (200 bars)	$\sigma' = 30$ MPa (300 bars)	$\sigma' = 40$ MPa (400 bars)
CCBA 68	$E = 6\,700 \sqrt[3]{\sigma_m}$	MPa	29 700 MPa	36 500 MPa	42 000 MPa
	$E' = 21\,000 \sqrt[3]{\sigma_m}$	bars	(297 000 bars)	(365 000 bars)	(420 000 bars)
CEBTP-CES	$E = 10\,800 \sqrt[3]{\sigma_m}$	MPa	29 200 MPa	33 500 MPa	36 800 MPa
	$E' = 50\,000 \sqrt[3]{\sigma_m}$	bars	(292 000 bars)	(335 000 bars)	(368 400 bars)
CEB	$E = 9\,500 \sqrt[3]{\sigma_m + 8}$	MPa	28 900 MPa	32 000 MPa	34 800 MPa
	$E' = 44\,000 \sqrt[3]{\sigma' + 80}$	bars	(289 000 bars)	(320 000 bars)	(348 000 bars)

8.1. Influence de la dimension D des plus gros granulats

Les formules données sont valables pour des dimensions courantes de granulats ($D = 25$ mm). Or D est un des paramètres qui influence cette relation.

Nous avons mis en formule l'expression de E pour des valeurs de D différentes :

$$E = 50\,000 (\sqrt[3]{\sigma'} - 1,5 + 1,2 \log_{10} D) \text{ en bars.}$$

Le diagramme représenté sur la figure 69 traduit graphiquement cette formule.

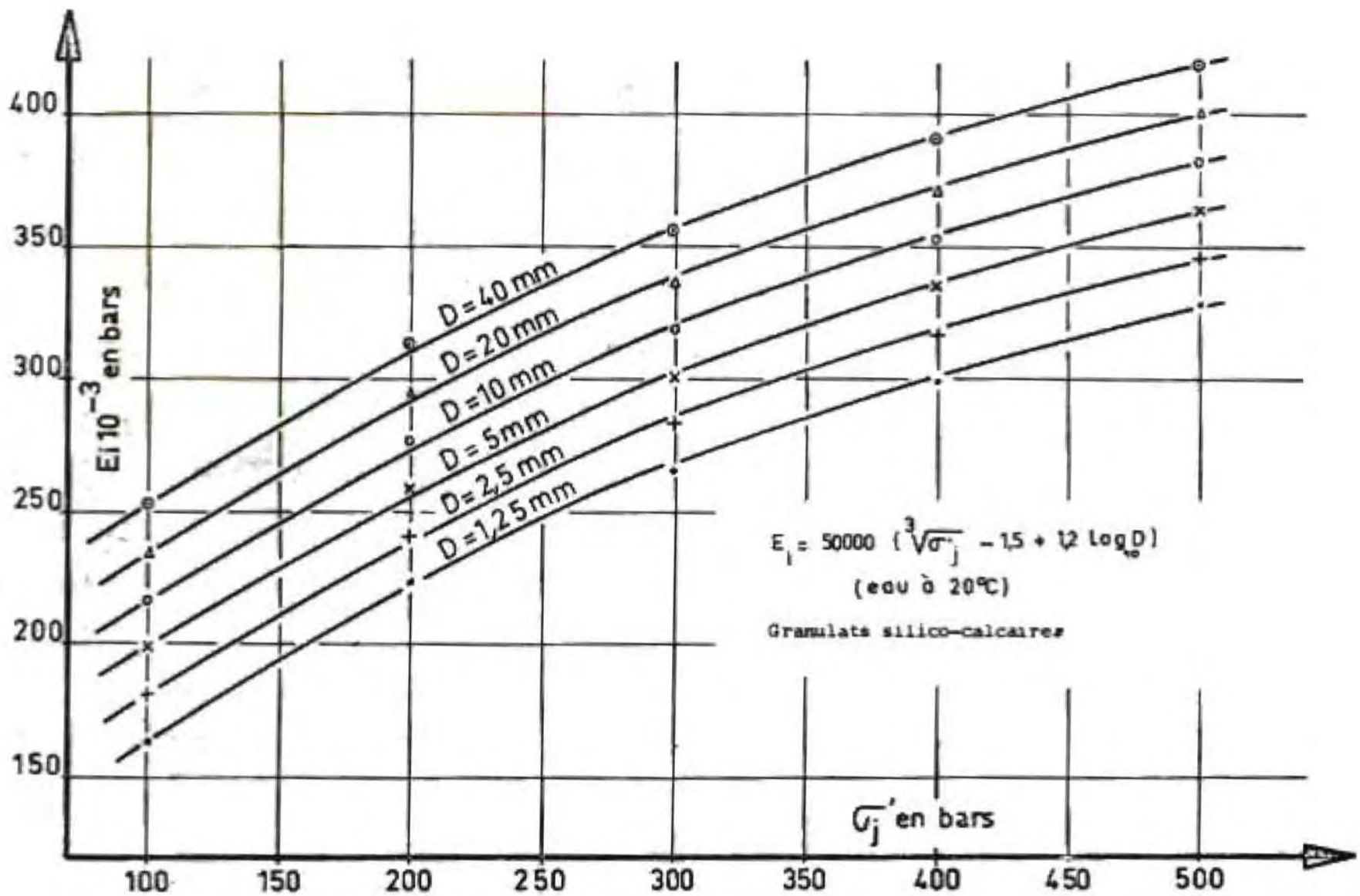


FIG. 69. — Valeur du module d'élasticité statique en fonction de la résistance sur cylindre pour différentes dimensions *D* de granulats.

8.2. Détermination du module élastique par une méthode utilisée au C.E.B.T.P.

Afin de réduire le temps consacré habituellement à la mesure en raison du collage de jauges dans la plupart des cas, un appareil à fixation rapide a été imaginé dans notre laboratoire du C.E.B.T.P. à Saint-Rémy.

Il s'agit des deux couronnes métalliques légères distantes de 16 cm et disposées sur l'éprouvette cylindrique à l'aide de vis pointeau serrées modérément sur le béton.

Entre les deux couronnes, trois capteurs précis permettent la mesure du raccourcissement (fig. 70 et 71).

Après mise en place de l'ensemble de l'éprouvette et du dispositif sur le plateau inférieur de la presse de compression, cinq cycles préliminaires de chargement-déchargement sont effectués à une valeur de charge correspondant au quart de la charge de rupture présumée de l'éprouvette.

Ensuite, le tracé complet définitif de la courbe a lieu et la détermination du module d'élasticité donné par la pente de cette courbe en phase élastique, ne présente aucune difficulté :

$$E = \sigma' / \epsilon'$$

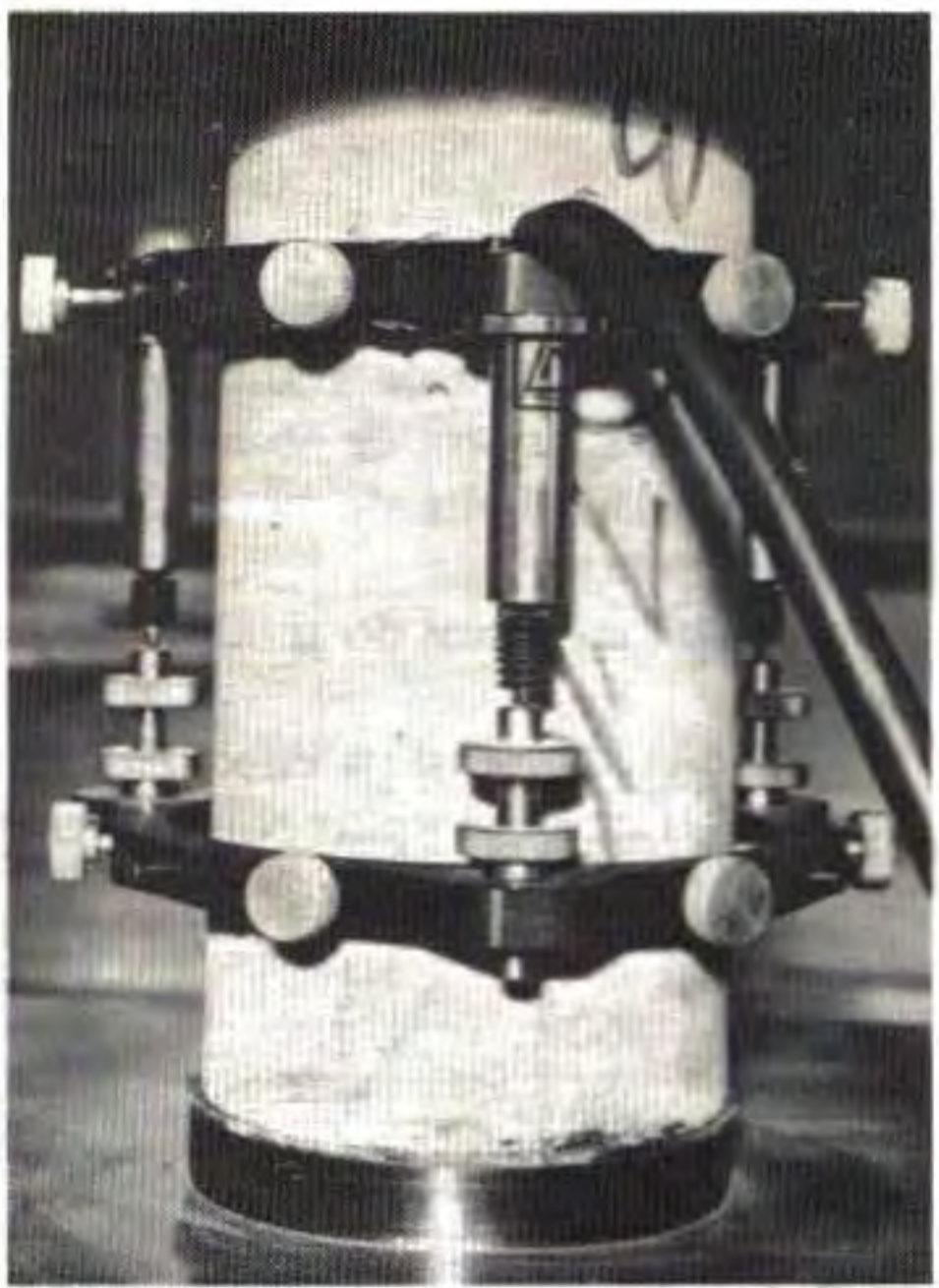


FIG. 70. — Extensomètre C.E.B.T.P. fixé sur une éprouvette cylindrique.

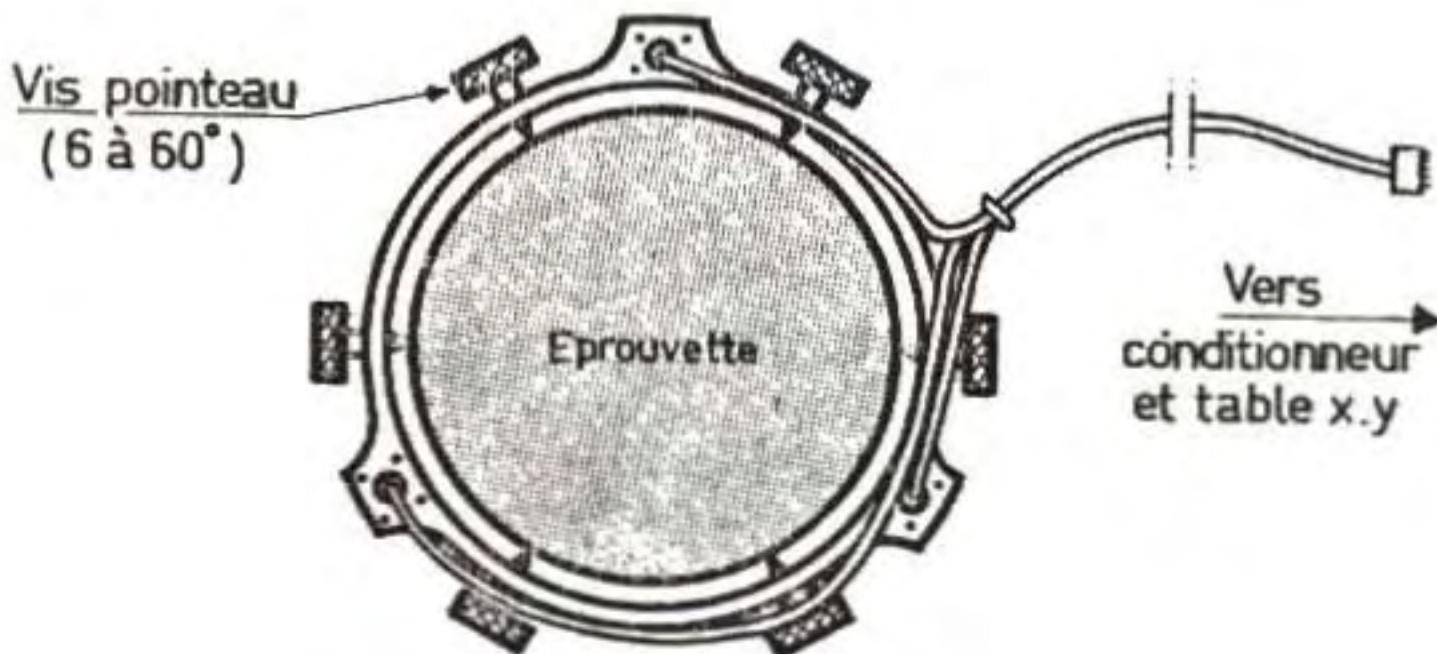
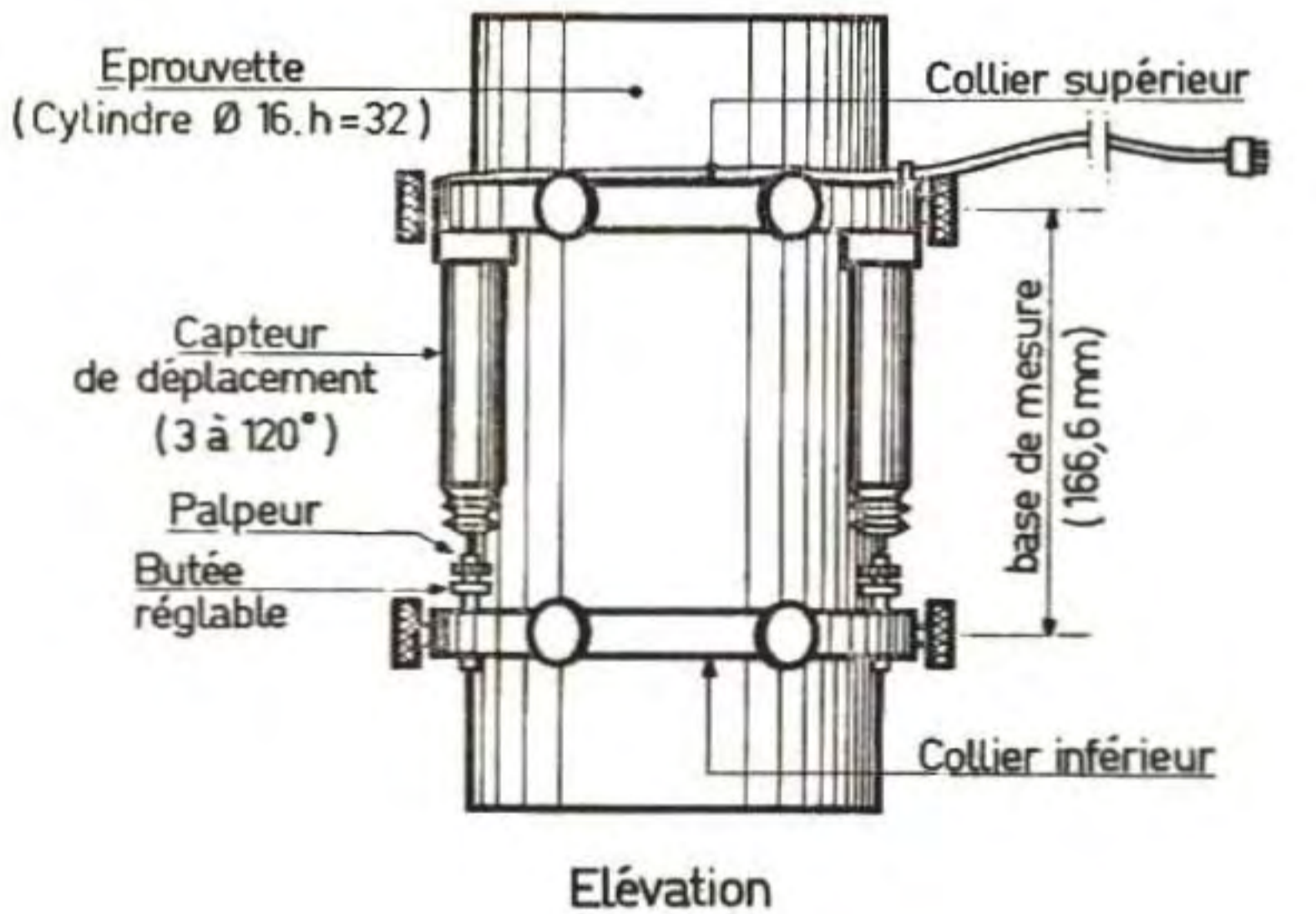


FIG. 71. — Extensomètre à cylindre.

Les courbes représentées sur la figure 72 concernent un béton traditionnel et un béton de granulats légers pour structure de même résistance pour des âges variant de 66 heures à 90 jours. Les pentes sont différentes ; le module d'élasticité du béton léger vaut la moitié de celui du béton de granulats naturels.

La connaissance du module d'élasticité en traction est parfois nécessaire.

La mesure est alors effectuée sur des éprouvettes sollicitées bien entendu en traction, le plus souvent en traction directe (fig. 73). La courbe

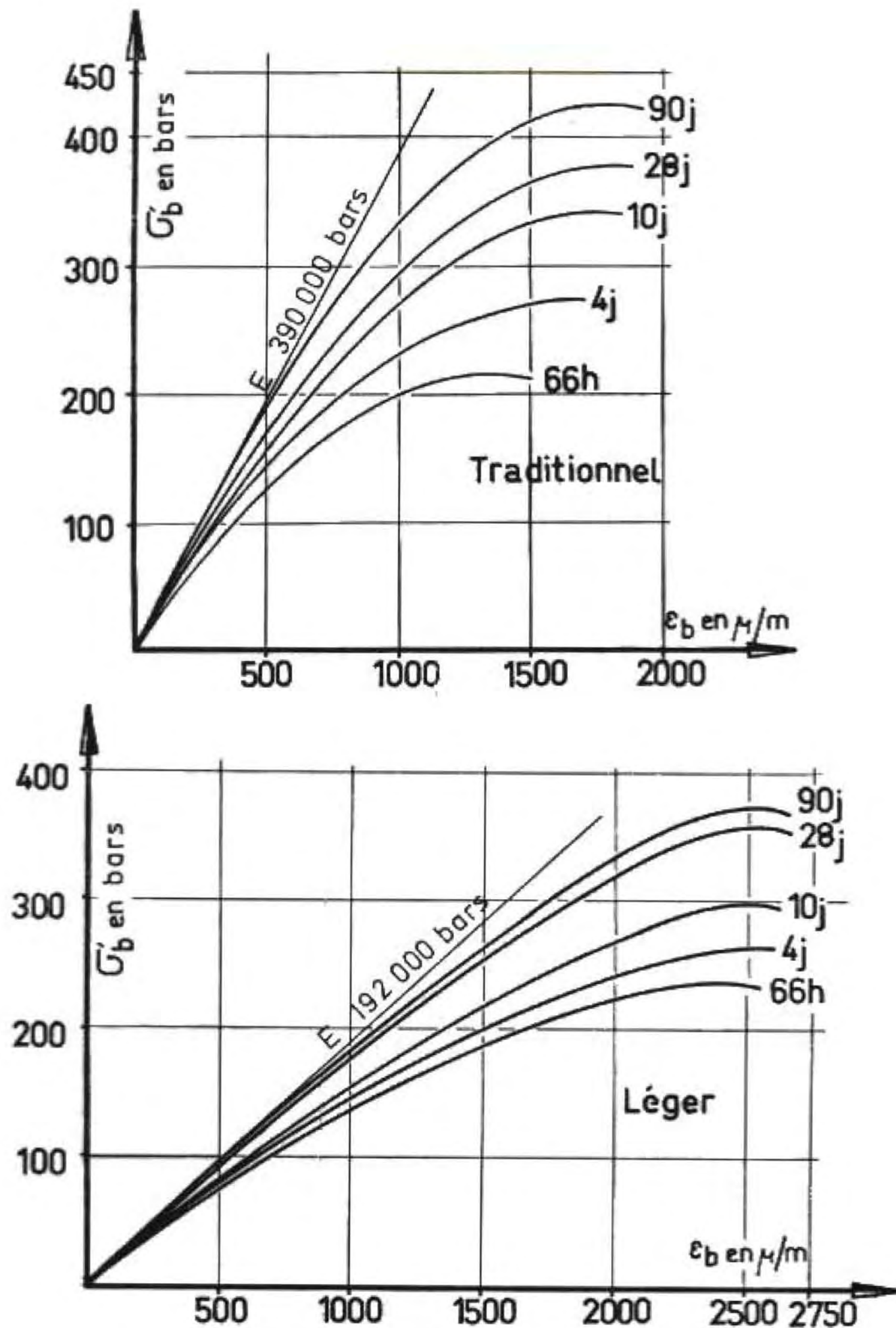


FIG. 72. — Courbes σ'/ϵ' obtenues à différents âges :
 E traditionnel = 390 000 bars à 90 jours
 E léger = 192 000 bars à 90 jours.

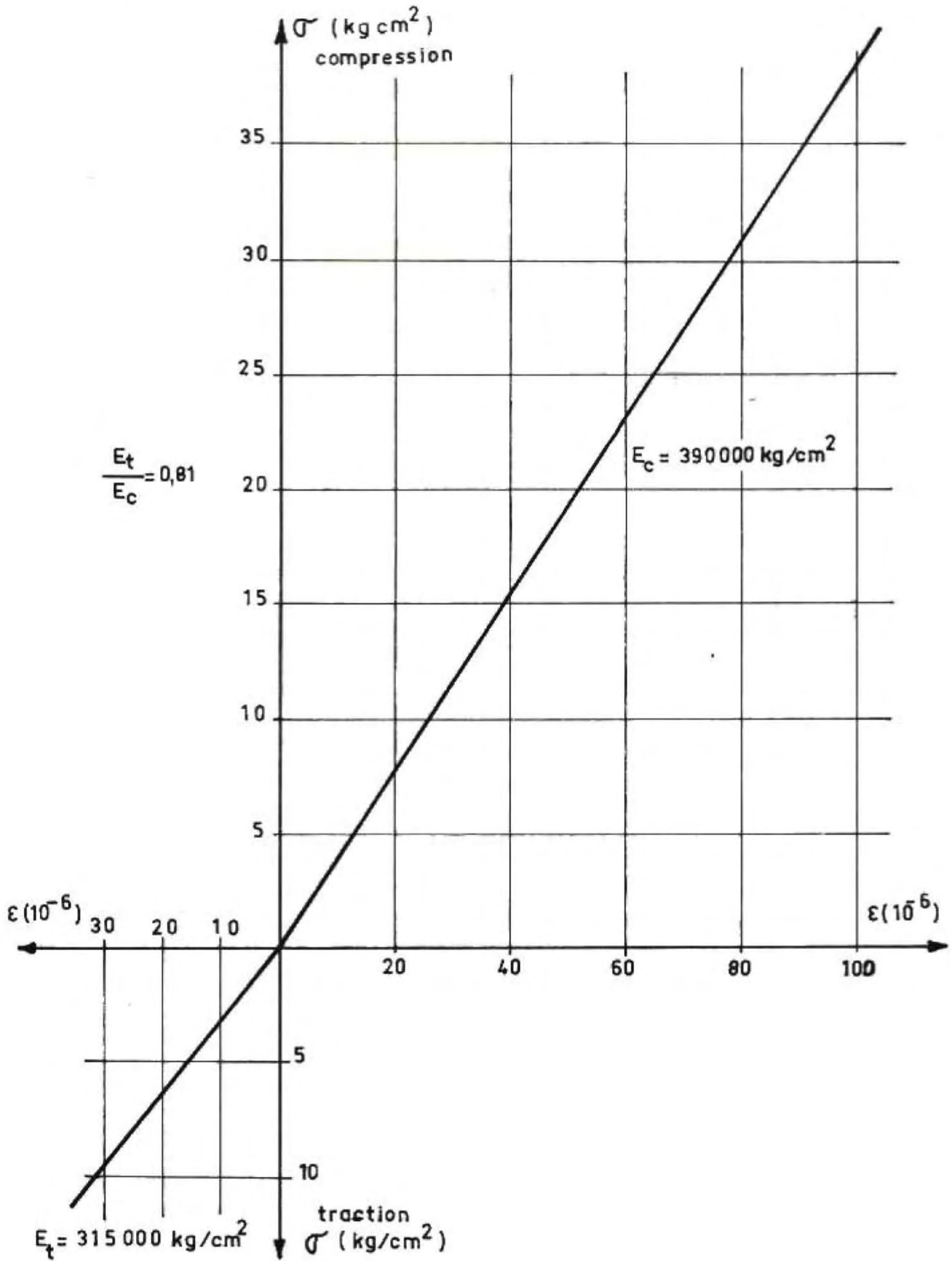


FIG. 73. — Courbes contrainte-déformation en compression et en traction sur le même cylindre en phase élastique (d'après BAUS).

se prolonge nettement moins qu'en compression à la rupture et la pente change par rapport à celle de la compression.

D'après le peu d'essais réalisés en la matière, il semble que le module soit plus faible d'environ 20 % : $E_t = 0,80 E_c$ [19].

8.3. Coefficient de Poisson

Il exprime le rapport de la déformation relative transversale à la déformation relative longitudinale :

$$\nu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l}$$

La mesure est souvent réalisée sur les faces d'un cube de 20 cm d'arête en disposant des extensomètres suivant deux directions perpendiculaires (suivant l'axe de chargement pour la première et l'axe perpendiculaire à celui-ci pour la deuxième direction).

Le coefficient de Poisson varie selon la qualité du béton et il est influencé par l'humidité du béton. Sa valeur est souvent comprise entre 0,15 et 0,22.

La figure 74 représente, en fonction de la contrainte, les déformations longitudinales et transversales relevées sur un cube de 20 cm d'arête.

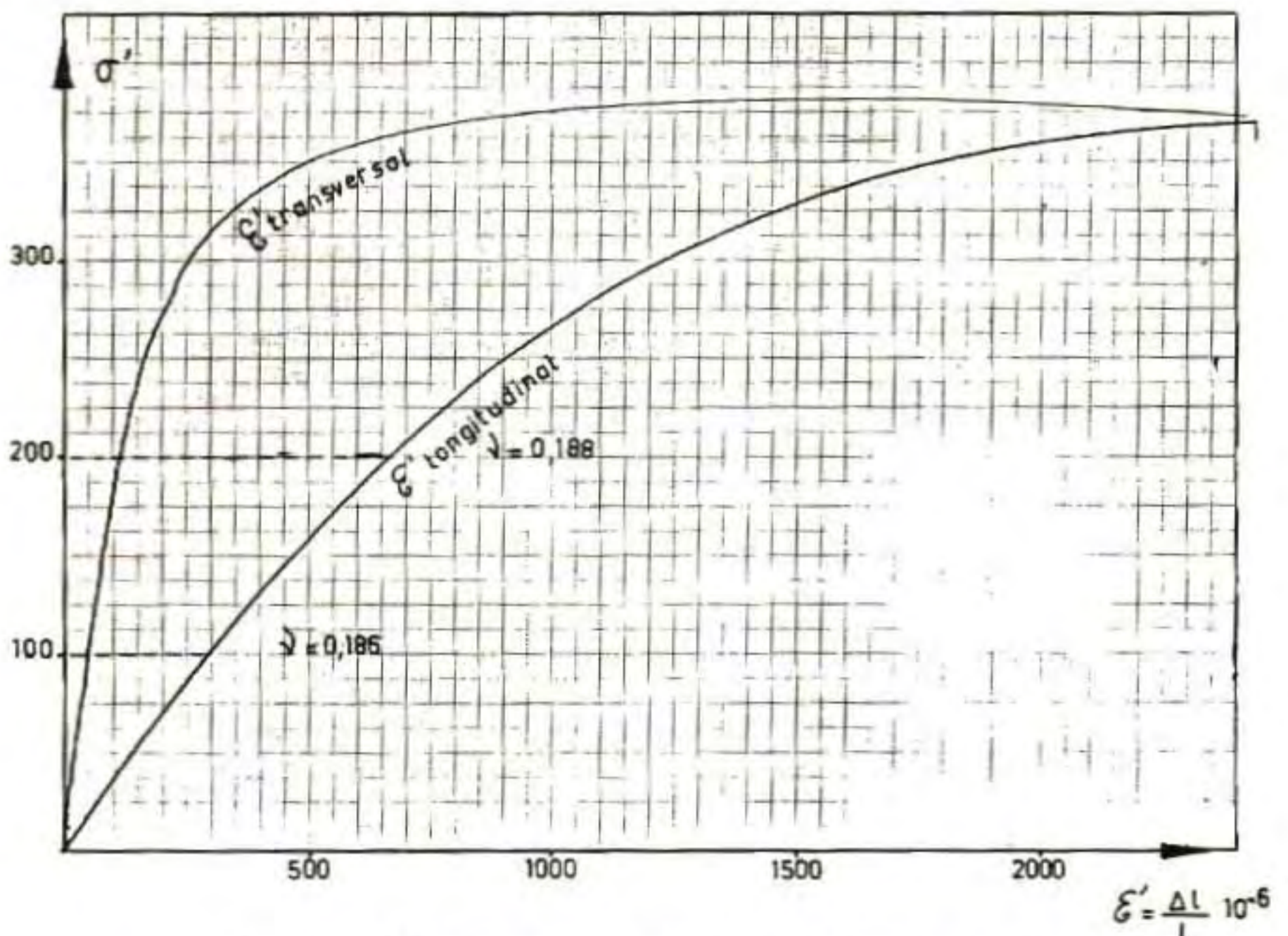


FIG. 74. — Détermination du coefficient de Poisson statique.

9. ESSAIS DIVERS. FLUAGE

Le béton durci peut faire l'objet d'autres essais comme la dureté (fig. 75), l'aspect (bullage et teinte), le fluage, l'isolation thermique... Pour tous ces essais il y a lieu de prendre contact avec un laboratoire spécialisé.

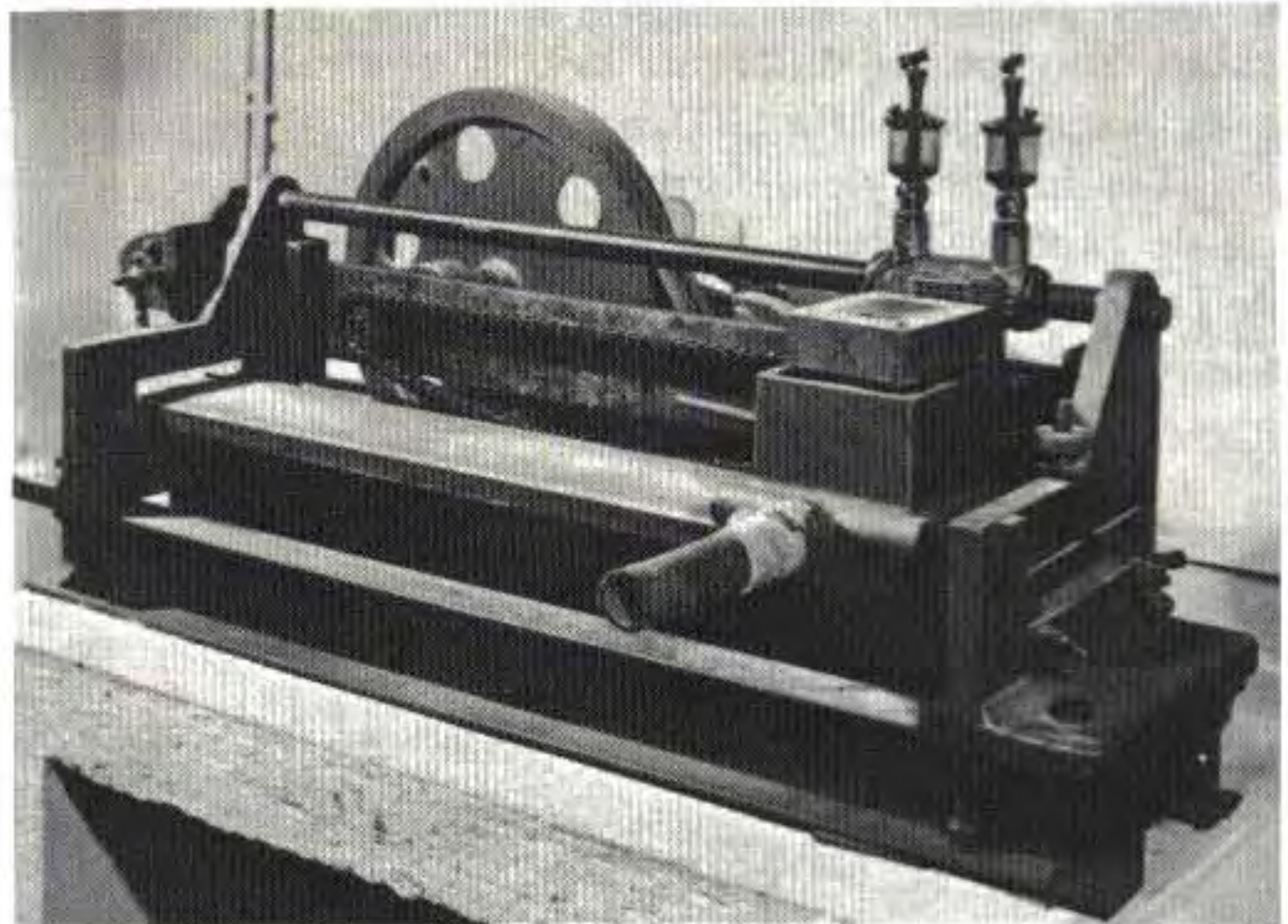


FIG. 75. — Machine d'usure (doc. C.E.B.T.P.).

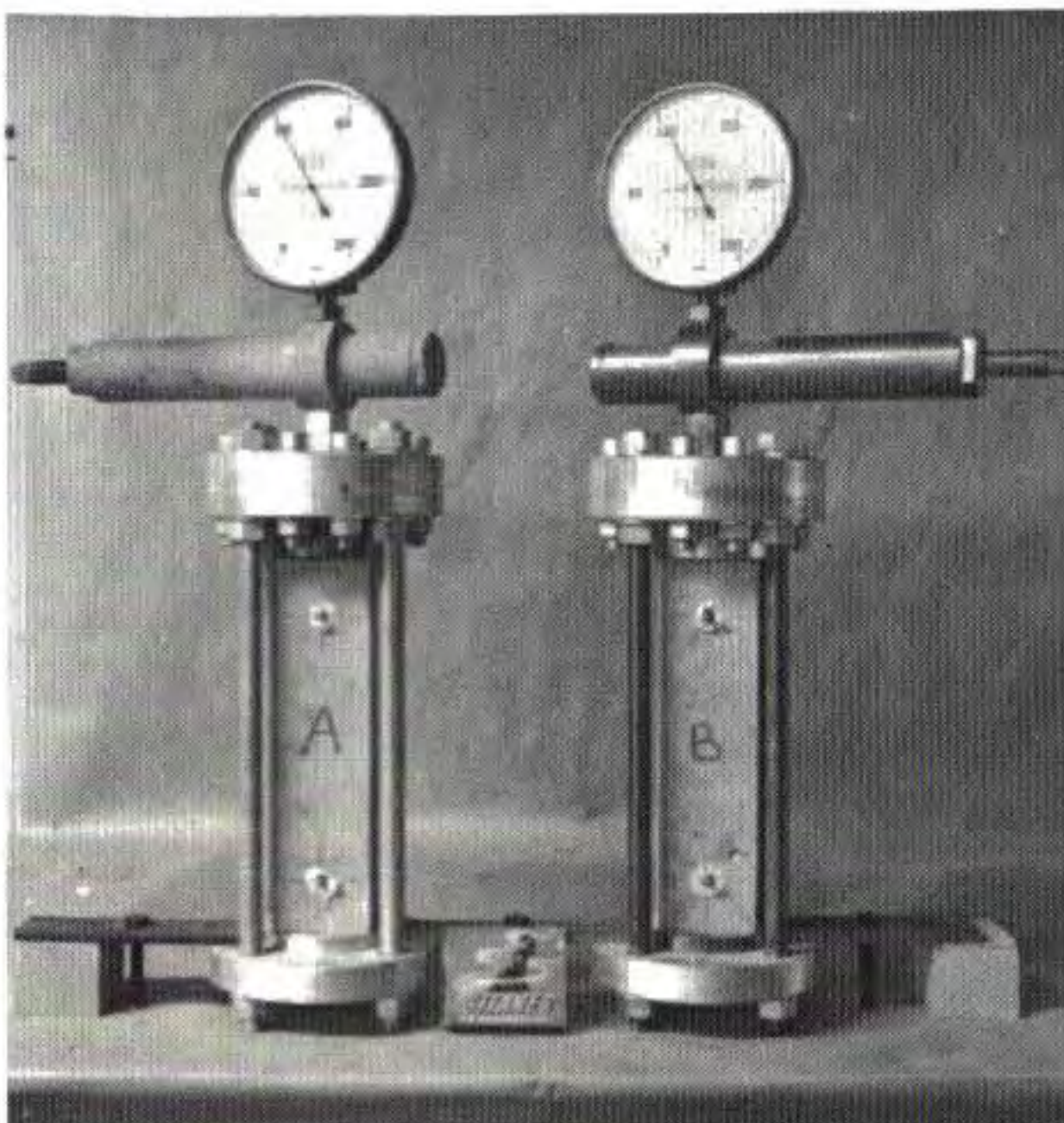


FIG. 76. — Appareils de fluage pour éprouvette $7 \times 7 \times 28$ (doc. C.E.B.T.P.).

En ce qui concerne le fluage par exemple, le C.E.B.T.P. est équipé pour effectuer des mesures sur tous les types de béton : léger, traditionnel ou lourd et sur toutes dimensions d'éprouvettes ou de partie de structure.

Les essais sont réalisés dans des bâtis à remise en charge manuelle (fig. 76) ou à mainteneur de charge (fig. 77). Il est possible également d'utiliser d'autres moyens de chargement comme la précontrainte par câble. Suivant les différents cas, la contrainte appliquée au béton peut aller jusqu'à 30 MPa (300 bars) ou plus si nécessaire.

Les mesures de déformation sont effectuées à l'aide d'extensomètres ou de capteurs divers, pourvu qu'il soit possible d'obtenir une précision de l'ordre de $5 \cdot 10^{-6}$ environ (5 microns par mètre).

L'appareil représenté sur la figure 78 est un des extensomètres les plus utilisés au C.E.B.T.P. après les jauges électriques. Il permet la mesure



FIG. 78. — Extensomètre à comparateur (doc. C.E.B.T.P.).

FIG. 77. — Appareil de fluage pour deux cylindres de 16 en cours d'étalonnage. On remarque la bouteille d'azote pour maintenir la charge.

de déformation sur une base de 20 cm entre deux billes en acier collées sur le support à tester. A l'aide de son comparateur « au micron », l'appareil permet une précision de l'ordre de 5 microns par mètre.

9.1. Essais sur structure ou modèle de structure

Les essais en vraie grandeur ou sur modèle réduit, sont réalisés dans des centres spécialisés. C'est ainsi qu'au Centre d'Essais des Structures de Saint-Rémy-lès-Chevreuse, toutes les structures en béton (ou autres matériaux) peuvent faire l'objet d'essais très diversifiés (fig. 79 et 80). Plusieurs Centres d'Essais en France comme le Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées sont équipés également de dalles d'essais permettant en particulier d'effectuer des essais dynamiques.

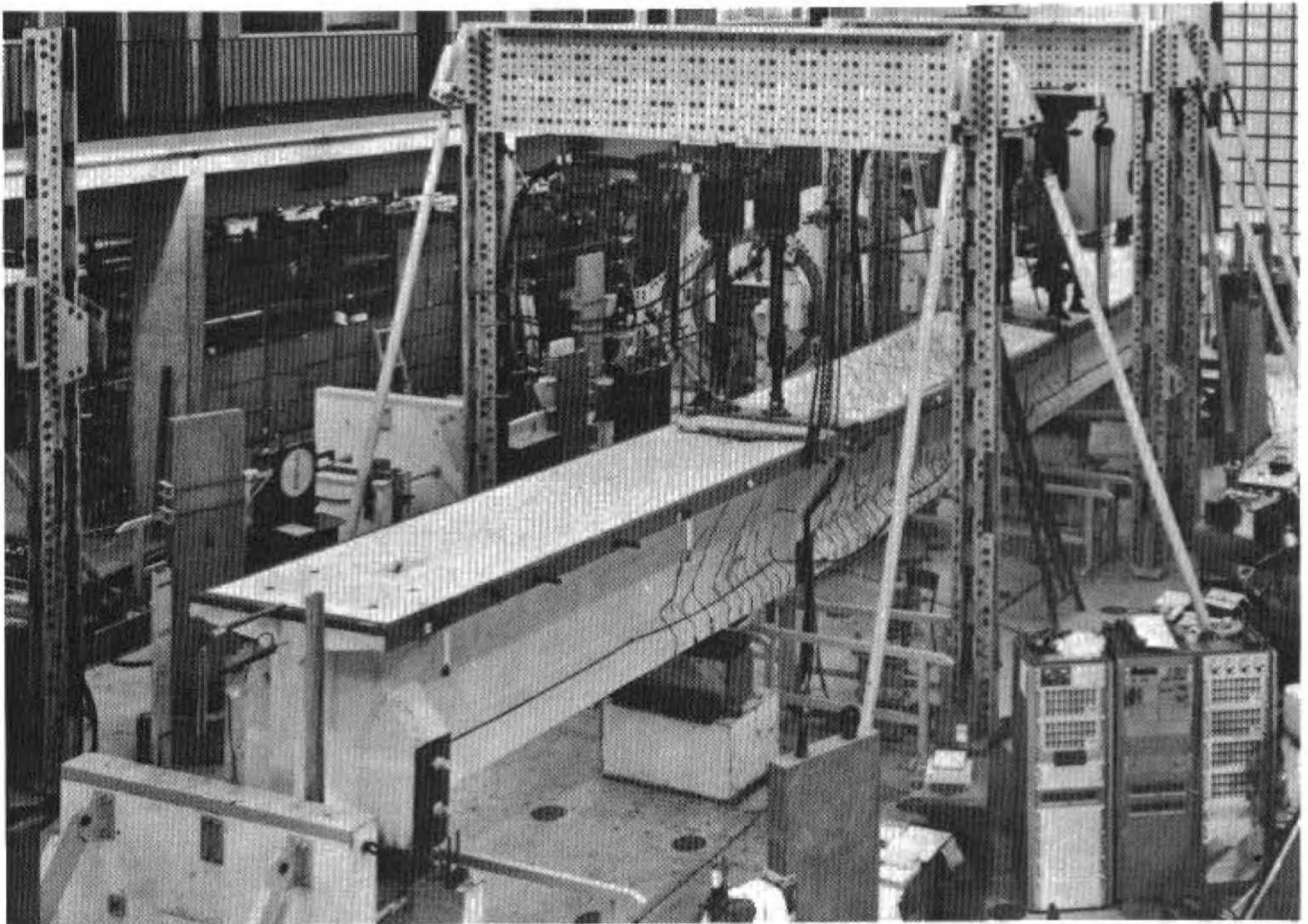


FIG. 79. — Essai en vraie grandeur d'une poutre de 20 m en béton précontraint, sollicitée en flexion-torsion (doc. C.E.B.T.P.).

Les études expérimentales sur modèles réduits se sont grandement développées depuis une quinzaine d'années. Le micro-béton utilisé peut être réduit jusqu'à dix fois, c'est-à-dire $D = 2,5 \text{ mm}$.



FIG. 80. — Essai à l'échelle 1/10 d'un immeuble en micro-béton de cinq niveaux, sollicité en vibration (doc. C.E.B.T.P.)

10. CAROTTAGE DU BÉTON

En vue d'effectuer des essais divers sur béton durci, le carottage par couronne diamantée procure un moyen intéressant d'investigation. Mais il est coûteux et souvent difficile à réaliser en raison de la proximité des armatures.

Si cela était possible, il faudrait respecter la règle du dimensionnement des carottes en fonction de la dimension des granulats comme pour les éprouvettes moulées. On est souvent amené à se contenter de diamètres plus petits et rarement supérieurs à 100 mm.

Pour les essais de compression (à fortiori de fendage), il faut essayer d'obtenir des carottes très régulières. Il faut également protéger les éprouvettes de la dessiccation trop rapide en les enfermant après carottage,

dans un sac de polyane étanche (suivre les indications de la norme NF P 18 405) : Essais d'Information.

10.1. Relation entre éprouvettes moulées et carottées

Les avis sont partagés sur la question ce qui montre bien qu'il n'y a pas de relation univoque entre la résistance des éprouvettes carottées et celle des éprouvettes moulées.

La représentativité des unes comme des autres est rarement très bonne. Cependant, en laboratoire où des carottages de 10 cm de diamètre et 20 cm de hauteur ont été effectués dans des poutres, les résistances concordent très bien avec celles obtenues sur des éprouvettes moulées en cylindres de 11 × 22 (fig. 81 et 81 bis).

Dans le cas du chantier, l'homogénéité du béton dans l'ouvrage est forcément plus aléatoire que l'homogénéité des éprouvettes.

L'humidité des carottes au moment de l'essai a une grande importance sur le résultat. Pour ces différentes raisons, il sera bon de suivre les prescriptions de la norme en cours de révision.



FIG. 81. — Opération de carottage avec machine hydraulique (doc. C.E.B.T.P.).



FIG. 81 bis. — Carotte 10 × 20 cm extraite d'un bon béton.

11. ESSAIS NON DESTRUCTIFS

Depuis une trentaine d'années, bien des chercheurs et des spécialistes du contrôle du béton ont essayé de mettre au point et de développer les essais non destructifs en général. Le C.E.B.T.P. a été, pour la France, l'organisme qui a le plus contribué au développement de l'auscultation dynamique.

Il est en effet intéressant de pouvoir ausculter directement l'ouvrage afin de ne pas être gêné par le problème de la représentativité des éprouvettes que nous avons déjà examiné. Mais il faudra d'autres développements des méthodes et du matériel pour s'appuyer uniquement sur les essais non destructifs.

Cependant, dans bien des circonstances, ces méthodes sont d'une grande utilité, principalement lorsque les éprouvettes font défaut.

Les procédés non destructifs évitent surtout de procéder à des carottages longs, coûteux et pas toujours réalisables. Néanmoins en raison de la nécessité d'un étalonnage avec des éprouvettes écrasées, on est amené dans un nombre de cas non négligeable, à réaliser malgré tout des prélèvements par carottages en plus des auscultations.

11.1. Auscultation au scléromètre

Le scléromètre est le plus connu des appareils pour un contrôle rapide du béton. Appliqué sur une face de la partie d'ouvrage à ausculter par une pression de la main, il permet à une petite masse mobile de rebondir plus ou moins en fonction de la dureté superficielle du béton. Un repère gradué indique la valeur du rebondissement.

Une relation assez nette existe entre cette dureté superficielle et la résistance du béton.

Une courbe de relation entre les deux grandeurs est indiquée directement sur l'appareil. On peut utiliser d'autres relations telles que celle que nous avons établie :

$$\sigma' = \frac{I^2}{3} - 2I$$

pour des bétons de granulats silico-calcaire.

σ' résistance à l'écrasement sur cylindre en bars,
 I indice sur le scléromètre normal.

Les diverses relations sont assorties d'un fuseau de dispersion et chaque type de béton devrait faire l'objet d'un étalonnage préalable.

Ceci dit, c'est un bon moyen de première détection d'une éventuelle qualité médiocre du béton (fig. 82). On ne peut bien entendu, juger définitivement une partie d'ouvrage à partir des indications du scléromètre.

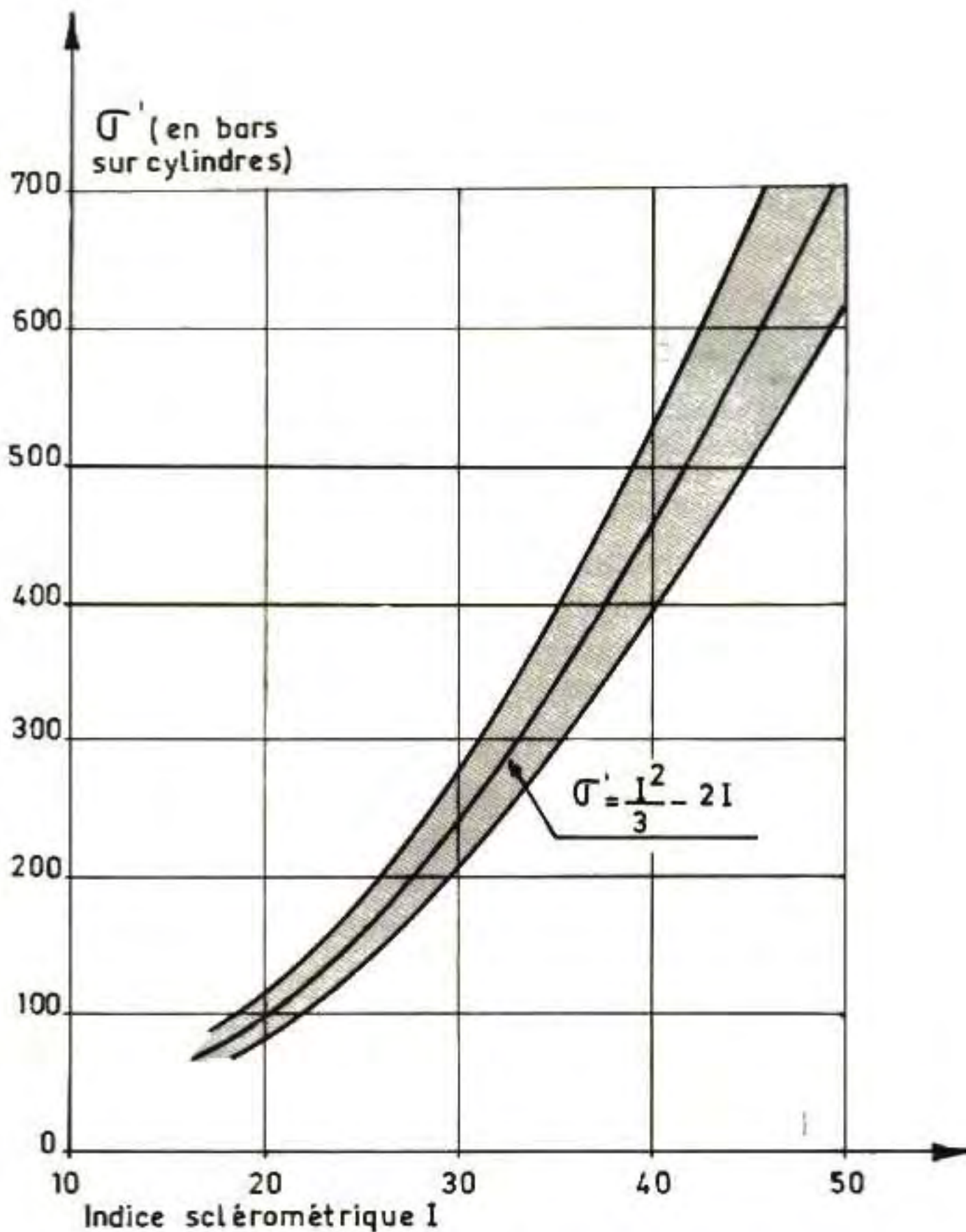


FIG. 82. — Relation entre l'indice sclérométrique et la résistance sur cylindre de béton silico-calcaire.

11.1.1. Précautions à prendre

Pour tirer le meilleur parti de cet appareil, il est indispensable d'observer quelques règles d'utilisation :

- vérifier par étalonnage ou faire régler l'appareil régulièrement (le ressort s'affaiblit dans le temps) ;
- opérer avec un nombre de points de mesure suffisants (une douzaine de points paraît un minimum pour une poutre ou un poteau) ;

— éliminer les valeurs aberrantes (trop faibles ou trop fortes); il existe des règles différentes suivant les organismes qui l'utilisent. Un certain bon sens suffit pour reconnaître les valeurs anormales.

Exemple sur une série de 12 points :

30 - 28 - 32 - 29 - 31 - ④ - 28 - 27 - 29 - ② - 30.

Les valeurs 40 et 21 sont à éliminer. On divisera la somme des 10 autres valeurs par 10 pour obtenir la valeur moyenne.

— Poncer un peu la surface du béton pour éliminer la première fine couche poussiéreuse (en faisant cette petite opération la dispersion est moins grande).

— Noter l'état d'humidité du béton qui a une certaine influence sur les résultats.

— Se servir le plus possible de l'appareil dans sa position horizontale ; dans le cas d'une autre direction il faut effectuer les corrections indiquées dans la notice.

— Bien noter les épaisseurs auscultées (les voiles de faible épaisseur donnent des valeurs pessimistes).

— Enfin, comme nous l'avons déjà signalé, il serait bon de réaliser un étalonnage préalable avec le type de béton qui sera utilisé. Ceci peut se faire durant les essais d'étude à l'aide de cubes chargés à une contrainte de 15 bars ; les mesures sont réalisées sur les faces latérales du cube. Parallèlement des cylindres du même béton sont fabriqués en même temps que les cubes et écrasés le jour des essais au scléromètre.

Pour obtenir une variation des résistances on fera varier le E/C du béton étudié.

11.1.2. Types d'appareils

On peut trouver dans le commerce plusieurs types d'appareils :

- le modèle N à lecture directe ;
- le modèle N, identique au précédent mais muni d'un enregistreur de valeurs (il permet à un opérateur de réaliser seul les mesures) (fig. 83) ;
- le modèle M pour les bétons de grosse masse ;
- le modèle pendulaire utilisé sur les bétons très jeunes ; il est principalement utilisé pour juger de la possibilité du décoffrage ou du levage des panneaux,

11.2. Auscultation dynamique par vitesse du son

Le principe utilisé est celui de la mesure du temps de propagation t des ondes longitudinales dans le béton, émises par un ébranlement.



FIG. 83. — Scléromètre enregistreur SCHMIDT.

Connaissant la distance d parcourue par les ondes, on en déduit une vitesse $V = \frac{1}{t} d$, exprimée le plus souvent en mètres par seconde. Les temps sont mesurés avec une précision de 10^{-6} seconde (milliseconde).

Comme une certaine corrélation existe entre la vitesse du son et la résistance, on peut apprécier, avec des étalonnages préalables, la valeur de la résistance du béton.

11.2.1. Mesures

Il existe deux types de mesure :

a) Les mesures en transparence utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Le capteur est placé face à l'émetteur (fig. 84).

b) Les mesures en surface sont utilisées sur toutes les parties de structure et les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur. L'émetteur est maintenu en un point fixe ; le capteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance ; après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant (fig. 85).

On obtient donc une suite de valeurs correspondant au nombre de points marqués à l'avance. Après avoir porté graphiquement les temps et les distances (fig. 86), il est assez aisé de tracer la droite moyenne de ces différents points, dont la pente correspond à la valeur de la vitesse du son.

Dans le cas des mesures de surface, lorsque l'émetteur et le capteur sont placés sur la même face, la valeur de la vitesse obtenue correspond

essentiellement aux qualités des couches superficielles, traversées par les ondes. Le signal reçu est donc peu affecté par l'existence, en profondeur, d'un béton défectueux. En revanche, la méthode permet de détecter l'existence d'un matériau meilleur sous une couche superficielle de moins bonne qualité.

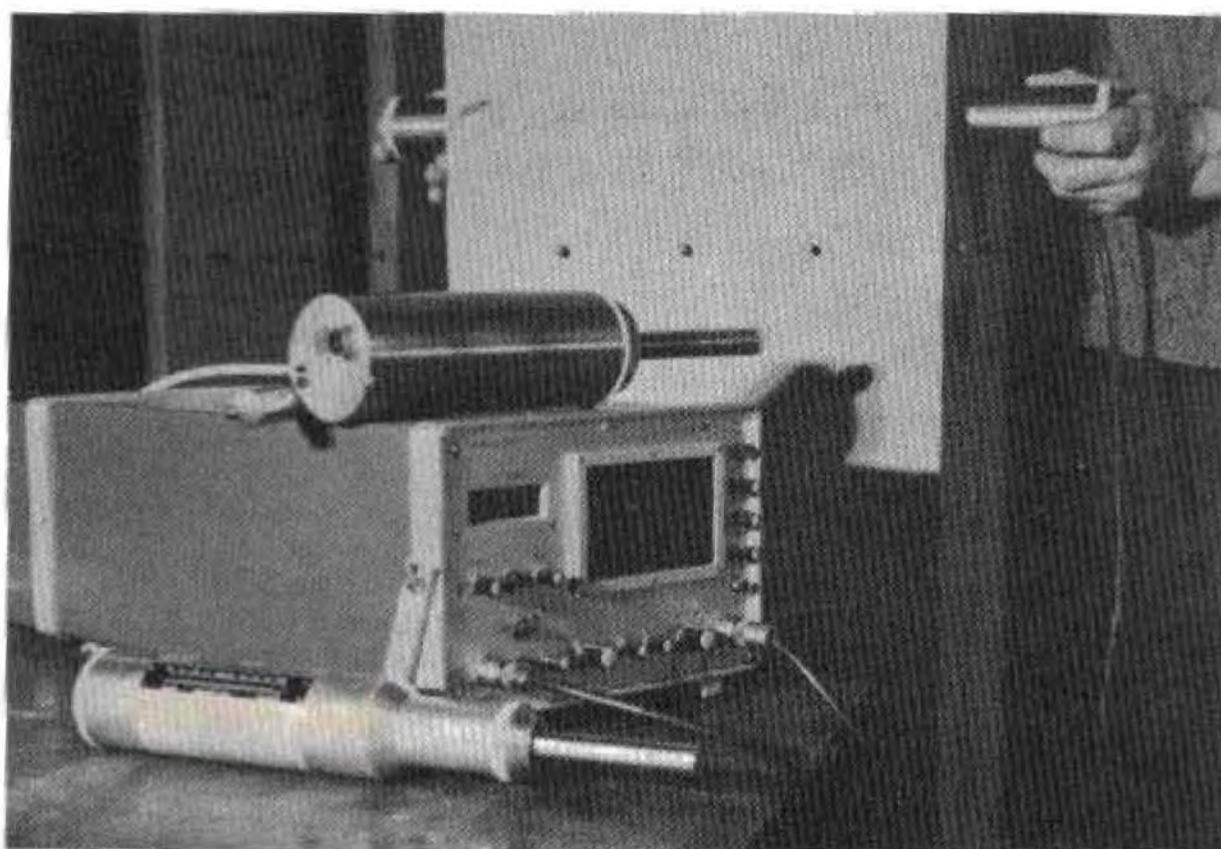


FIG. 84. — Détermination de la vitesse du son en transparence avec un ausculteur du C.E.B.T.P.

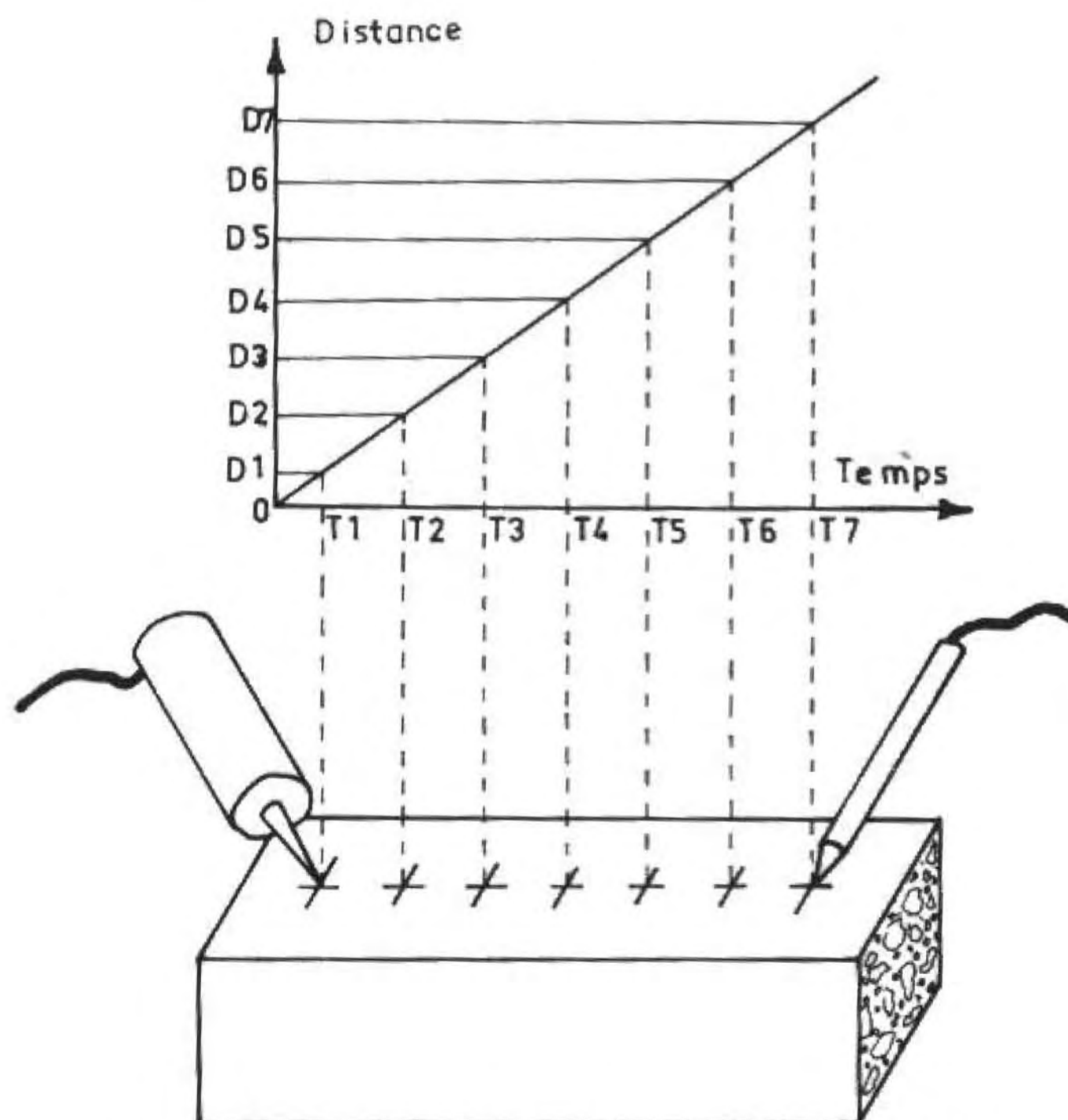


FIG. 85. — Détermination de la vitesse du son en surface.

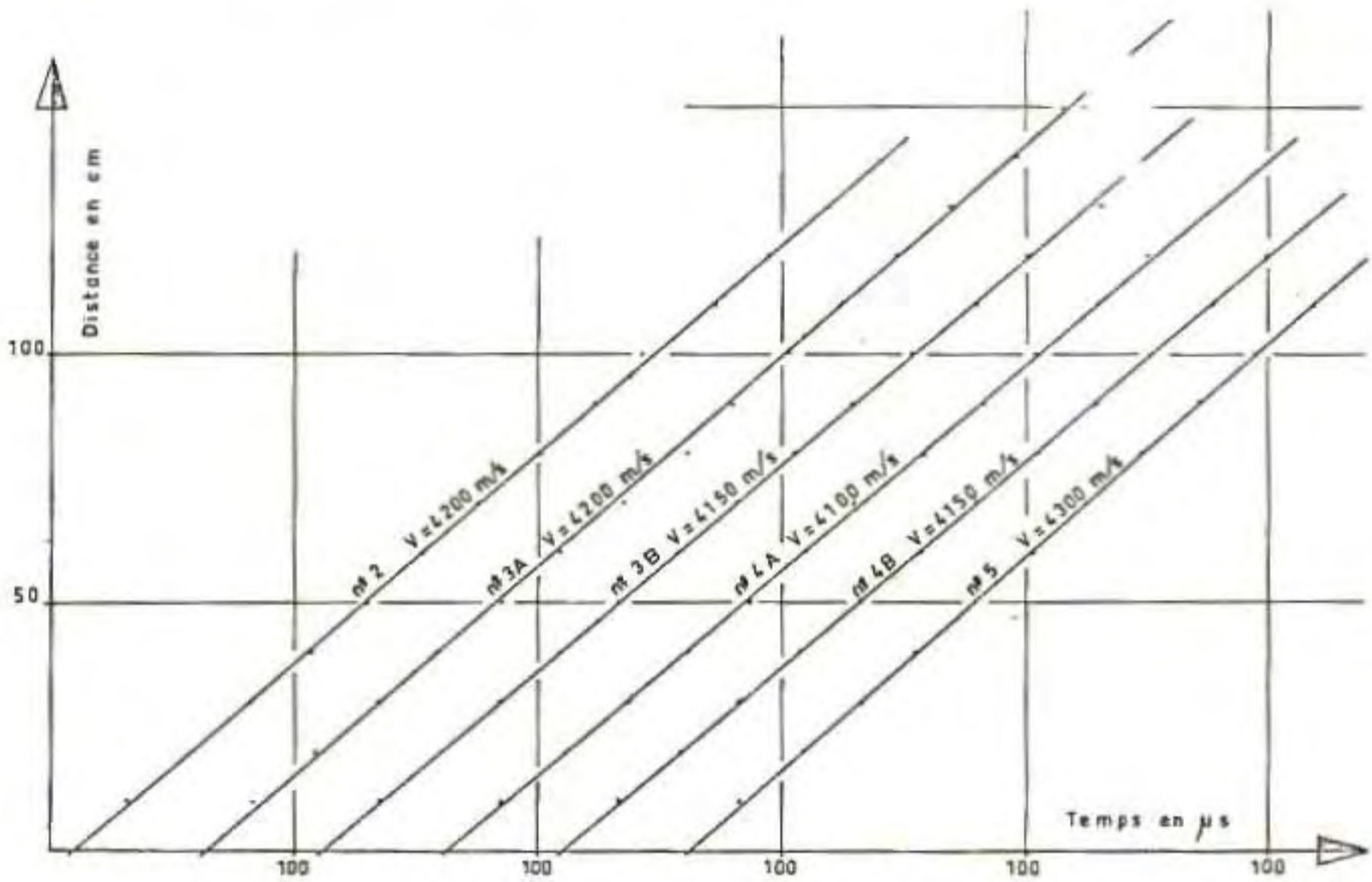


FIG. 86. — Résultat d'auscultation en surface sur un plancher.



FIG. 87. — Ausculteur courant du commerce.

L'appareillage a bien évolué depuis quelques années. On trouve des appareils du commerce à prix relativement abordable et des appareils plus performants, comme ceux mis au point dans les Centres d'Essais (fig. 87 et 84).

Le plus souvent, deux opérateurs au moins sont nécessaires pour réaliser les mesures.

11.2.2. Relation vitesse du son-résistance

D'une façon générale, la résistance augmente avec la vitesse du son. Mais *il n'existe pas de relation unique* valable pour tous les bétons. Comme pour le scléromètre, un certain fuseau de dispersion est constaté et la corrélation est surtout bonne pour les bétons de faible résistance.

Pour les hautes résistances, la vitesse du son ne croît pratiquement plus au-delà de 350 bars environ car elle est principalement fonction de la compacité du béton ; étant donné qu'un béton de résistance supérieure à 350 bars est pratiquement toujours un béton compact, ceci explique cela. C'est d'ailleurs une des raisons qui font que l'on a encore besoin des essais destructifs sur éprouvettes.

Bon nombre de bétons aujourd'hui, en particulier pour les ouvrages d'art, ont en effet des résistances assez élevées ; dans ce cas, il est bien difficile de savoir si la résistance est de 400 ou de 500 bars.

Par contre, les bétons poreux, gelés, etc., sont assez facilement détectés par la vitesse du son.

La vitesse du son est fonction également de la nature des granulats employés. Mais c'est à nouveau une question de compacité et les granulats poreux, les granulats légers en particulier, procurent pour une même résistance à la compression, une vitesse plus faible. L'exemple de la figure 88 porte sur trois poteaux auscultés en transparence de 10 en 10 cm. On remarque une vitesse de 4 000 m/s dans le béton léger et 4 600 m/s dans le béton traditionnel des têtes renforcées. On remarque également une vitesse plus grande aux points 80 et 120 cm due à la présence d'armatures transversales. L'effet aurait été moins marqué dans le béton traditionnel où la vitesse est plus élevée.

Il est donc nécessaire, quand cela est possible, d'établir au préalable un étalonnage avec les granulats et le dosage en ciment qui seront utilisés pour l'ouvrage considéré.

Nous citons cependant deux relations parmi toutes celles proposées :

a)
$$\sigma' = 16,7 \exp. \frac{Ed}{122\ 500}$$

Ed est le module d'élasticité dynamique qui est fonction de la vitesse du son :

$$Ed = V^2 \frac{\bar{\omega} (1 + \nu) (1 - 2 \nu)}{g (1 - \nu)}$$

avec V vitesse du son,
 $\bar{\omega}$ densité du béton,
 g 9,81 m/s/S,
 ν coefficient de Poisson dynamique souvent compris entre 0,22 et 0,28.

b)
$$\sigma' = K \frac{\bar{\omega}}{g} V^4$$

K est un coefficient d'étalonnage propre à chaque type de béton.

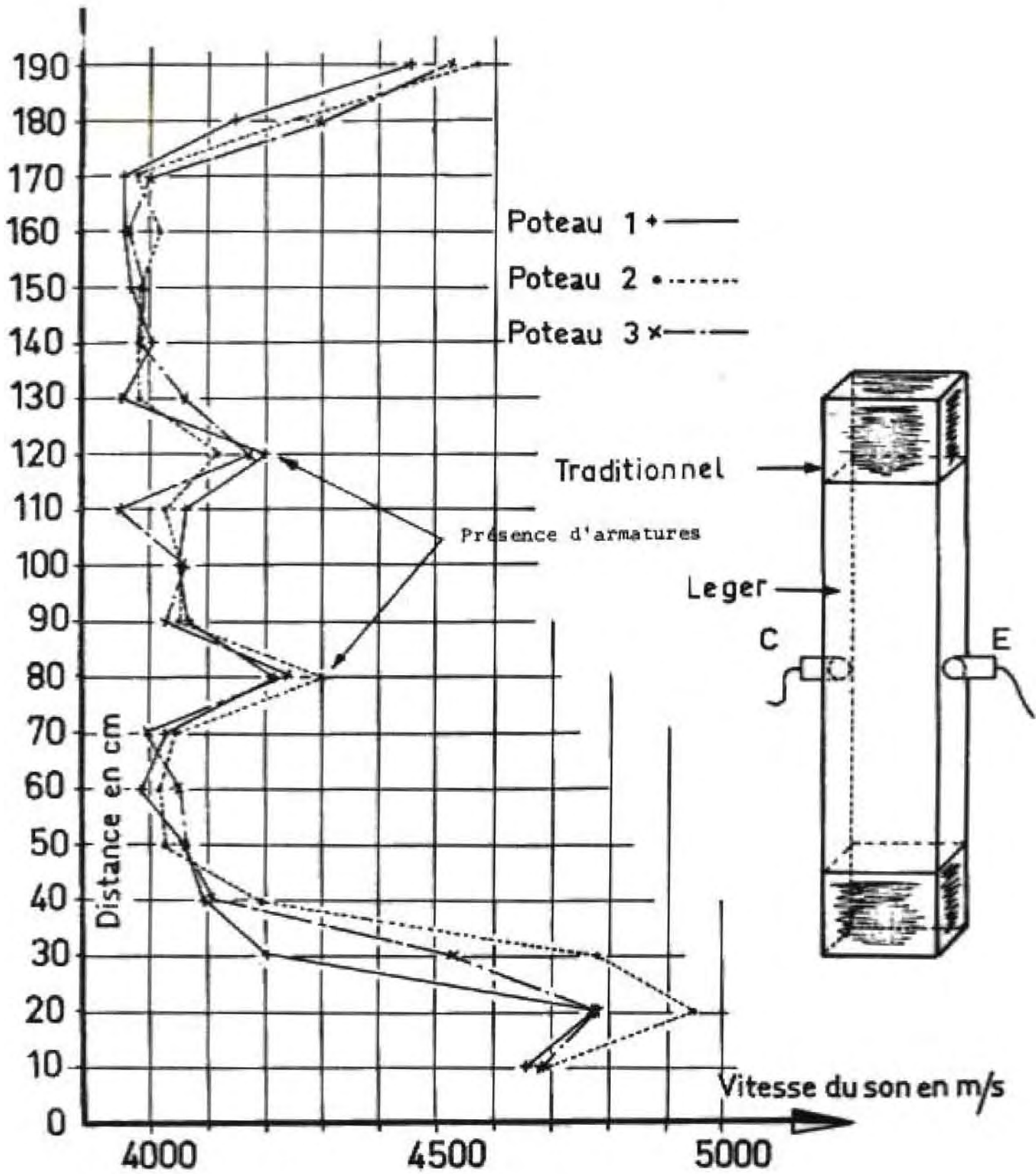


FIG. 88. — Résultat de mesure de la vitesse du son en transparence dans la hauteur de trois poteaux en laboratoire. On remarque la vitesse plus faible dans le béton léger.

11.2.3. Exploitation des résultats

Les mesures et leur exploitation sont du ressort de personnes compétentes en matière d'appareillage et de connaissance du matériau béton.

Comme pour le scléromètre, il est rare que l'on puisse juger définitivement de la qualité du béton d'un ouvrage avec les seules mesures d'auscultation dynamique. Souvent il faut avoir recours à des moyens d'investigation complémentaires comme le carottage.

Il demeure cependant que c'est un excellent procédé de détection et que l'évolution constante dans la technique des appareils procurera dans l'avenir des possibilités plus grandes encore.

La courbe de la figure 89 issue d'un nombre assez important de propositions sera utilisée à défaut d'étalonnage direct.

Cependant, sans craindre de nous répéter, insistons à nouveau sur le fait que rien ne remplace un étalonnage réel préalable avec rupture d'éprouvettes et, si possible, dans des conditions d'humidité équivalentes. Les éprouvettes peuvent être carottées dans l'ouvrage.

La teneur en eau du béton durci ausculté a une influence bien marquée sur la vitesse du son ; l'eau remplit les pores et contribue donc à améliorer la propagation des ondes sonores.

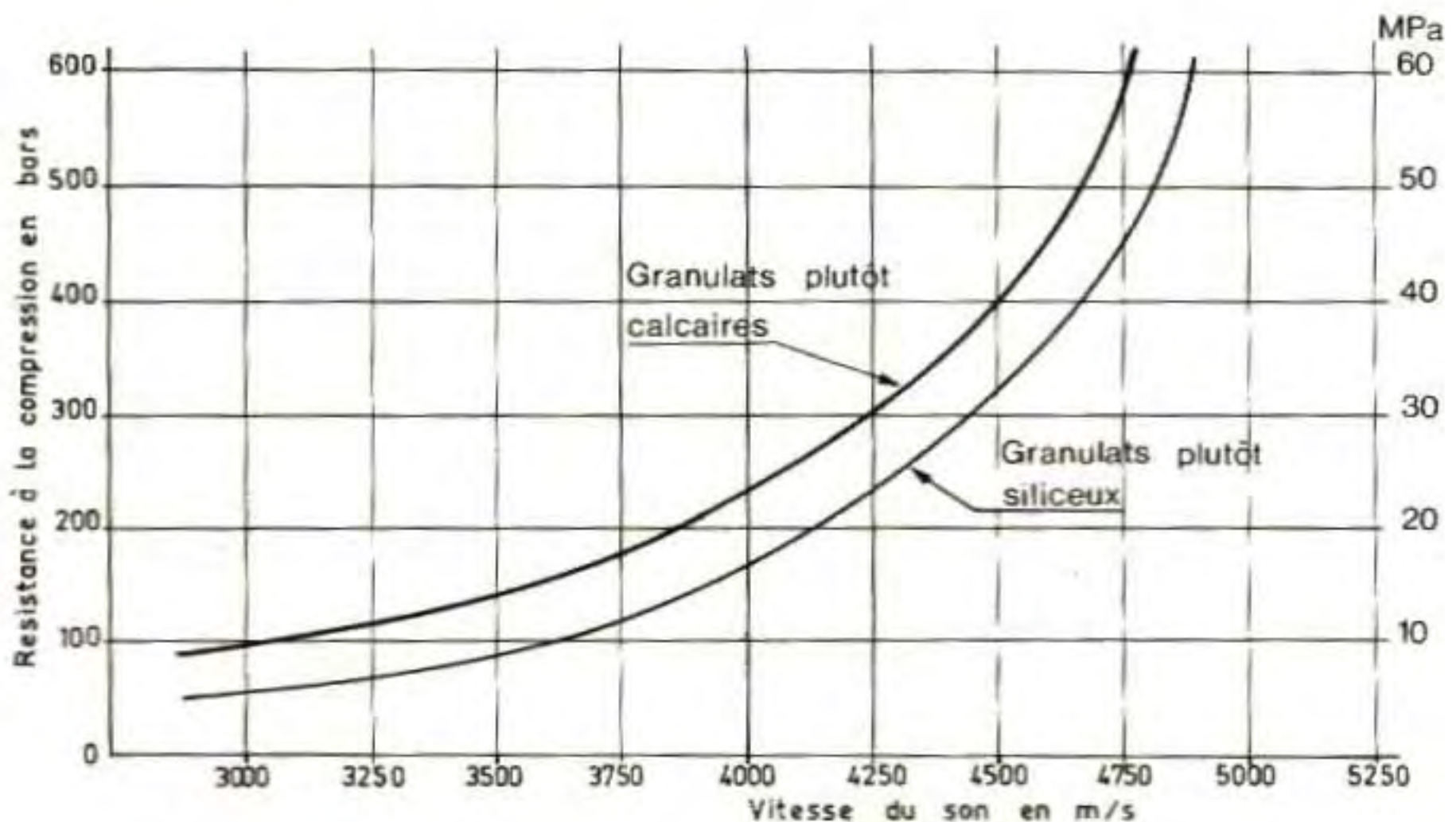


FIG. 89. — Relation moyenne vitesse du son-résistance, pour des bétons de granulats silico-calcaires.

11.3. Auscultation des pieux et des parois moulées en béton

Les pieux battus ou forés, les parois moulées, les puits ou les barrettes enterrées, jouent un rôle primordial dans le comportement des structures ou des ouvrages qu'ils supportent. Il est donc essentiel, en cas de doute ou de contestation sur chantier, de pouvoir s'assurer de leur qualité.

Ce genre de contrôle pose un problème particulièrement difficile puisque, seule, la face supérieure des éléments enterrés est accessible.

Le C.E.B.T.P. [20] a cependant réussi à mettre au point des méthodes opérationnelles sur chantier.

Trois méthodes peuvent être utilisées :

A. *Le carottage sonore* pour les éléments moulés qui nécessite la mise en place avant le bétonnage, de deux ou trois tubes dans la hauteur de l'élément suivant la disposition de la figure 90.



FIG. 90. — Disposition des tubes (deux ou trois) et zones auscultées dans les pieux.

PROFONDEUR

en mètre

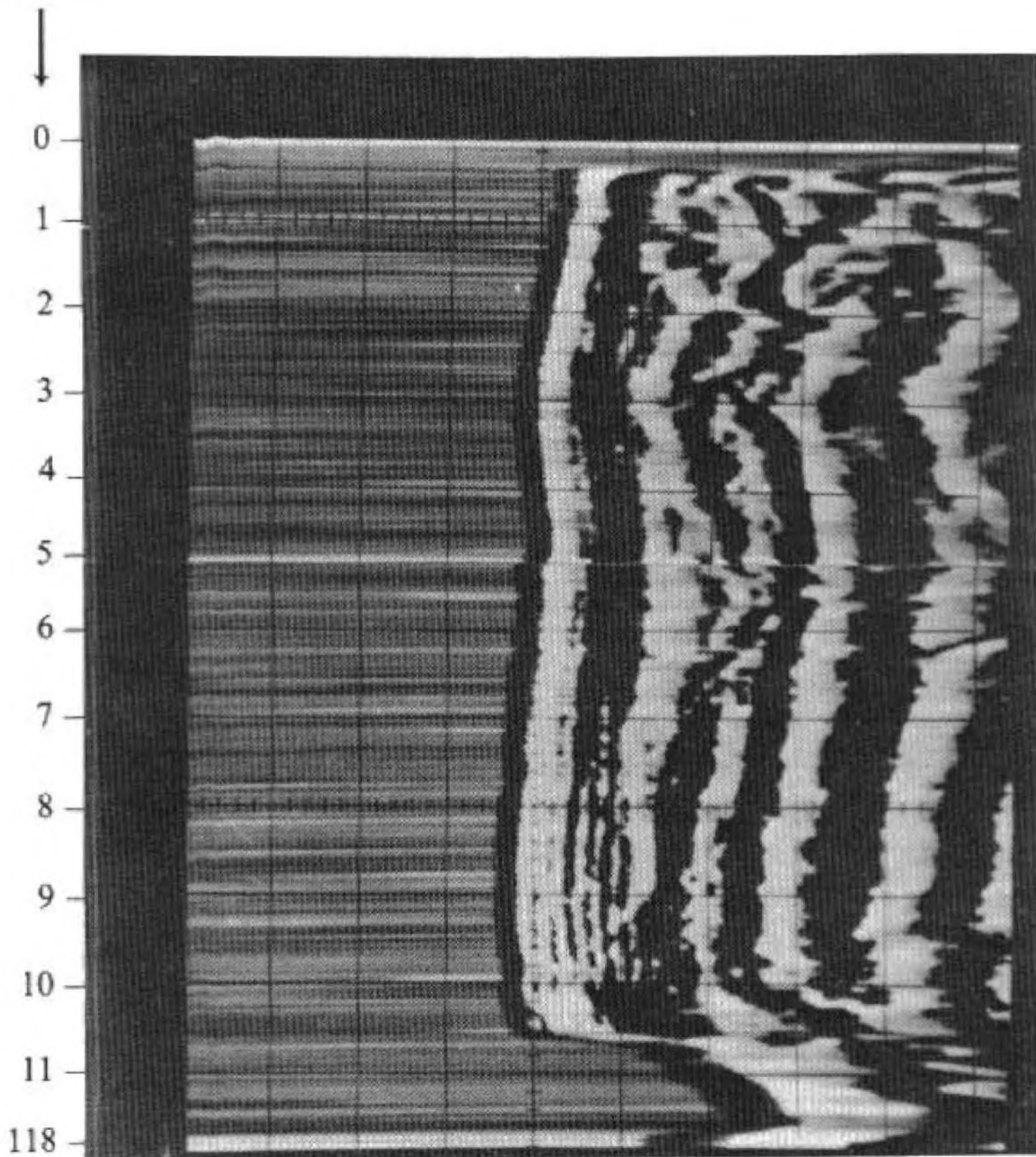


FIG. 91. — Exemple de diagraphie obtenue par carottage sonique. Un défaut caractéristique apparaît à 11 m de profondeur.

En disposant les tubes convenablement, il est possible non seulement de détecter les zones perturbées (nids de cailloux, défauts divers), mais également de déterminer la résistance approximative du béton.

Comme pour l'auscultation des ouvrages courants en béton par transparence, il s'agit de déplacer l'émetteur et le récepteur simultanément dans les tubes.

Un exemple d'auscultation est donné sur la figure 91 où l'on peut voir, sur la diagraphie, un défaut net entre 10,50 m et 11,80 m.

B. Méthode de contrôle par vibrations (méthode de l'impédance mécanique).

Un excitateur de vibration électrodynamique et un capteur de vitesse sont disposés sur la tête du pieu (fig. 92).

La méthode consiste à mesurer diverses caractéristiques mécaniques en régime vibratoire à partir du seul accès à la surface supérieure du pieu. L'énergie fournie à la tête du pieu se dirige vers la zone d'ancrage située à la base, qui réfléchit, à son tour, une partie de l'énergie vers la tête. La vitesse V de la tête du pieu résulte de la combinaison du régime incident et du régime réfléchi. Elle présente des maxima et des minima très accentués pour certaines valeurs de la fréquence.



FIG. 92. — Mesure par impédance mécanique : l'excitateur électro-dynamique est placé au centre ; le capteur est excentré.

Le capteur et un enregistreur permettent d'analyser le mouvement de la tête du pieu et de tracer la courbe de variation de la vitesse en fonction de la fréquence d'excitation.

L'interprétation de cette courbe apporte des renseignements précieux sur les pieux :

- longueur et anomalies (rétrécissement ou bulbe);
- rigidité plus ou moins grande de l'ancrage dans le sol, à la base du pieu ;
- qualité moyenne du béton du pieu.

C. Méthode de contrôle par échos

Il s'agit de la mesure du temps mis par le signal pour effectuer un aller et retour entre la tête du pieu et la surface réfléchissante (base du pieu ou coupure). Il est possible de détecter des fissures ou des cassures franches.

C'est un marteau muni d'un déclencheur piézo-électrique qui frappe le béton de la tête. Le capteur est tenu à la main au contact de la même tête du pieu.

La méthode est cependant réservée aux pieux préfabriqués battus pour des raisons de régularité de forme. La longueur est limitée à une quinzaine de mètres.

Le tableau XXXI indique les domaines d'application préférentiels des trois méthodes :

TABLEAU XXXI — Domaine d'utilisation des trois méthodes d'auscultation des pieux

	<i>Carottage sonique</i>	<i>Impédance mécanique</i>	<i>Echo</i>
Pieu préfabriqué		×	×
Pieu moulé	×	×	
Barettes	×	×	
Parois moulées	×		
Structure en élévation	×		

Est-il besoin de signaler que ces essais de contrôle relèvent de l'intervention de spécialistes connaissant non seulement le matériel utilisé, mais aussi le matériau ausculté, en l'occurrence le béton.

11.4. Appareils divers pour les essais non destructifs

Il existe d'autres moyens d'essais directs sur béton que nous n'analyserons pas ici. Ces divers procédés relèvent presque toujours de la dureté de surface afin d'estimer la résistance à la compression.

11.5. Repérage des armatures - le pachomètre

Il arrive que pour des raisons de mauvaise exécution ou pour effectuer des carottages aux bons endroits, on soit amené à effectuer un repérage de la disposition des armatures.

L'appareil utilisé est le pachomètre qui permet également, sous certaines conditions, de déterminer le diamètre des aciers et le recouvrement.

Avec les derniers appareils proposés, on peut repérer des aciers jusqu'à une quinzaine de centimètres de profondeur quand les conditions sont favorables. Il s'agit du profomètre (fig. 93).



FIG. 93. — Repérage des armatures à l'aide du profomètre (doc. PERRIER).

Pour repérer les aciers en vue d'un carottage par exemple, cela ne présente pas de difficultés majeures. Tandis que pour établir un plan complet du ferrailage d'une partie d'ouvrage, il faut nécessairement l'intervention d'une personne expérimentée.

Le fonctionnement du profomètre est basé sur le principe de l'amortissement d'un circuit résonnant parallèle. Un courant alternatif de fréquence déterminée parcourt la bobine de la sonde créant un champ magnétique variable.

Les parties métalliques se trouvant dans le rayon d'action de ce champ provoquent une altération de la tension de la bobine, dépendant de l'épaisseur du béton et du diamètre des barres métalliques.

12. CONTRÔLE DE QUALITÉ DU BÉTON PROJETÉ

La technique du béton projeté est suffisamment utilisée aujourd'hui pour qu'il en soit fait mention.

Ce sous-chapitre est emprunté pour une grande part à un projet de recommandations [21] établi par un groupe de travail de l'AFB, sur la base des propositions de l'Association Française des Travaux en Souterrains (A.F.T.E.S.).

Comme pour les bétons moulés, les tests divers de convenance concernant les constituants et les équipements, sont de règle également.

Au cours de l'exécution, trois caractères principaux font l'objet du contrôle :

- la résistance mécanique en compression et en traction ;
- l'adhérence du béton projeté sur son support ;
- la continuité : absence de vides entre support et béton projeté.

De plus, des échantillons récupérés lors de la projection, peuvent faire l'objet d'analyse du béton frais.

12.1. Résistance mécanique

A. Prélèvement

Pour le prélèvement d'échantillons, il est préconisé de procéder à la projection de béton, dans des caisses plates en bois et dans des conditions rigoureusement identiques à celles de la projection habituelle, notamment en amont de la lance : machine, constituants, méthodes. Le moulage habituel des éprouvettes est pratiquement impossible du fait de la technique de mélange et de la consistance très sèche du béton.

Il est recommandé d'utiliser des caisses offrant une surface suffisante (60×60 cm au moins), dans lesquelles on projette le béton perpendiculairement au fond disposé verticalement. L'épaisseur du béton est de 15 cm, de manière à pouvoir obtenir, par carottage ou sciage, des éprouvettes de 12 cm de hauteur (fig. 94).

En ce qui concerne la conservation, on se conformera aux normes relevant du béton classique.

La fréquence des prélèvements est fixée habituellement par le maître d'œuvre. A titre indicatif, le Groupe de Travail de l'AFB indique un prélèvement par 80 m^3 de béton avec une fréquence accrue au début des travaux.

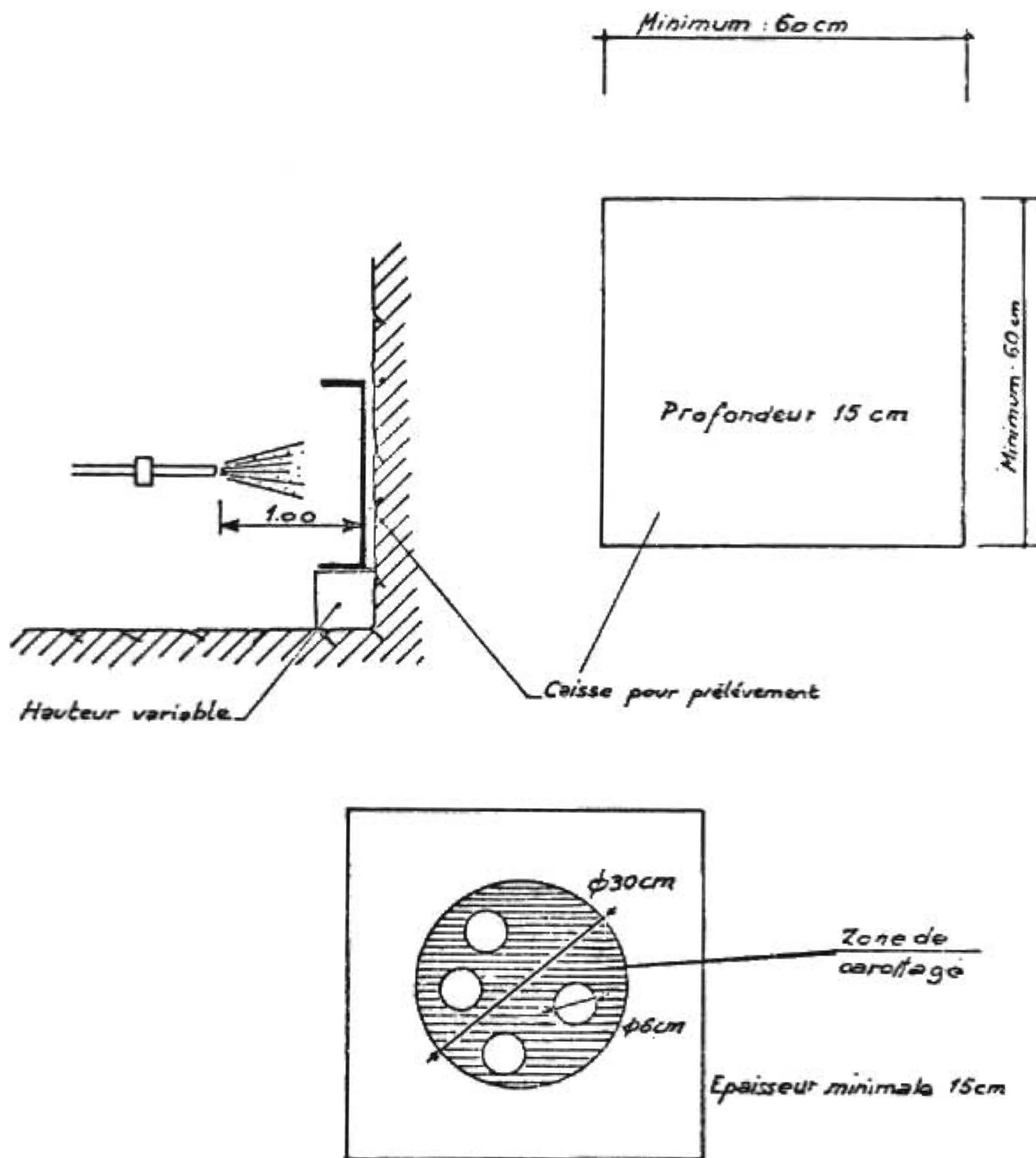


FIG. 94. — Dispositif de prélèvement en caisse du béton projeté.

B. Essais sur béton durci

Afin de procéder aux essais du béton aux âges prévus (le plus souvent 1, 2, 7, 28 et 90 jours), les éprouvettes sont carottées au diamètre de 6 cm dans la zone centrale de la caisse. L'élançement ainsi obtenu est de 2 puisque la hauteur est de 12 cm.

Il arrive que des essais de compression soient nécessaires à quelques heures d'âge pour des techniques particulières en béton projeté, nécessitant un durcissement précoce. Dans ce cas, on procède au sciage de cubes de 10 cm d'arête plutôt qu'au carottage. La caisse peut être sciée avec le béton pour éviter des épaufrures sur les éprouvettes.

En plus des essais de compression les mesures suivantes sont effectuées si nécessaire :

- densité apparente ;

- traction par fendage ;
- perméabilité ;
- porosité ;
- analyse chimique avec détermination du dosage en ciment.

12.2. Adhérence

Les essais d'adhérence sont effectués sur les supports douteux et les résultats sont comparés à ceux obtenus sur support réputé bon.

Il s'agit d'un essai d'arrachement dont le matériel et le processus sont identiques à ceux utilisés pour d'autres bétons et d'autres supports (béton collé, béton plaqué, carreaux collés...). La figure 95 représente l'appareil utilisé au C.E.B.T.P.

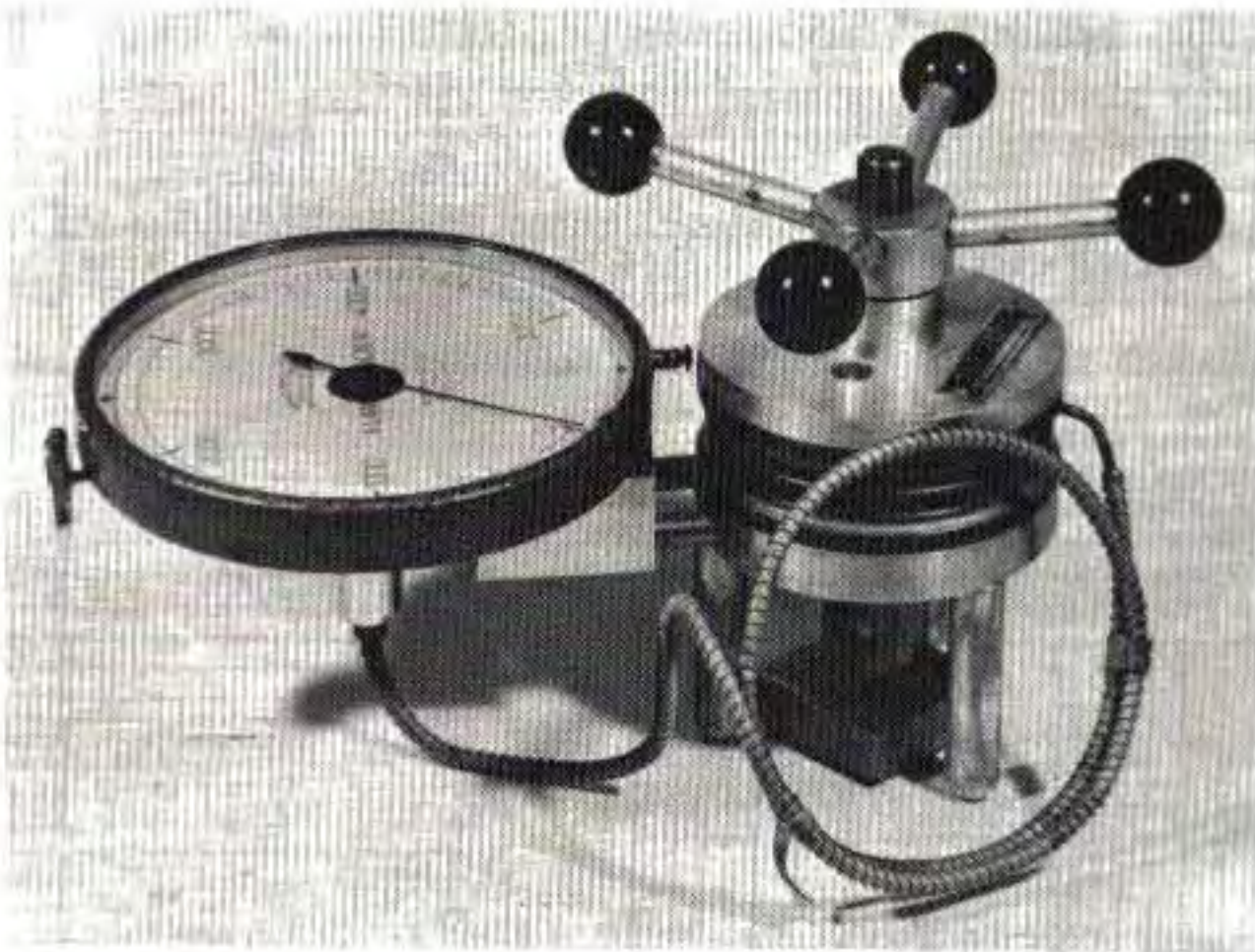


FIG. 95. — Appareil pour essai d'adhérence (doc. C.E.B.T.P.).

12.3. Contrôle de continuité

Ce sont essentiellement les essais non destructifs (6.11) qui sont utilisés pour cela avec un personnel qualifié.

Des étalonnages sur éprouvettes carottées dans l'ouvrage sont recommandés. Ces dernières permettent également de comparer les résistances du béton dans l'ouvrage avec celles des éprouvettes prélevées dans les caisses.

Une fiche type d'essais est donnée sur la figure 96.

13. ESSAIS ACCÉLÉRÉS

Afin de ne pas attendre les délais habituels contractuels de plusieurs jours pour effectuer des corrections de dosage à la suite de dérives dans la qualité des constituants par exemple, il est très utile et économique d'effectuer des essais à brève échéance, 24 heures au plus.

Bon nombre de laboratoires ont été chargés de mettre au point de tels essais. Depuis le cycle d'autoclavage automatique jusqu'aux micro-éprouvettes, les méthodes proposées sont nombreuses. Il s'agit en fait de déterminer une relation entre la résistance obtenue dans l'essai et la résistance à 28 jours le plus souvent.

Il n'existe aucune méthode qui puisse donner une relation univoque et immuable entre la résistance à court terme et la résistance à 28 jours. La raison principale est que chaque ciment a une relation propre, fonction notamment de la chaleur d'hydratation.

La supériorité d'une méthode par rapport à une autre réside dans la meilleure reproductibilité. L'argument économique ainsi que la simplicité opératoire sont éléments de choix également.

Toutes les méthodes sont basées sur le principe de l'accélération du durcissement par la chaleur.

Nous proposons ici une méthode mise au point dans notre laboratoire de Saint-Rémy.

13.1. Principe de la méthode proposée [4]

Les éprouvettes de béton frais dans leur moule sont recouvertes de feuille de polyane tenue par le bracelet en caoutchouc et mises en étuve sèche dès la fabrication (fig. 97).

La température de 60° C est maintenue pendant 24 h quand les délais le permettent. A la même température, le temps d'étuvage peut être ramené jusqu'à un minimum de 8 h.

L'étuve électrique sera choisie de manière à obtenir une répartition horizontale des moules ; ceux-ci sont disposés sur un seul niveau pour des raisons d'isothermie dans l'étuve.

A la fin du temps requis d'étuvage, les moules sont retirés de l'étuve pour démoulage, surfaçage et essai d'écrasement dans la demi-heure.

13.2. Étalonnage

Au moment des essais d'étude et de convenance qui nécessitent des ruptures à 28 jours, des éprouvettes supplémentaires sont confectionnées

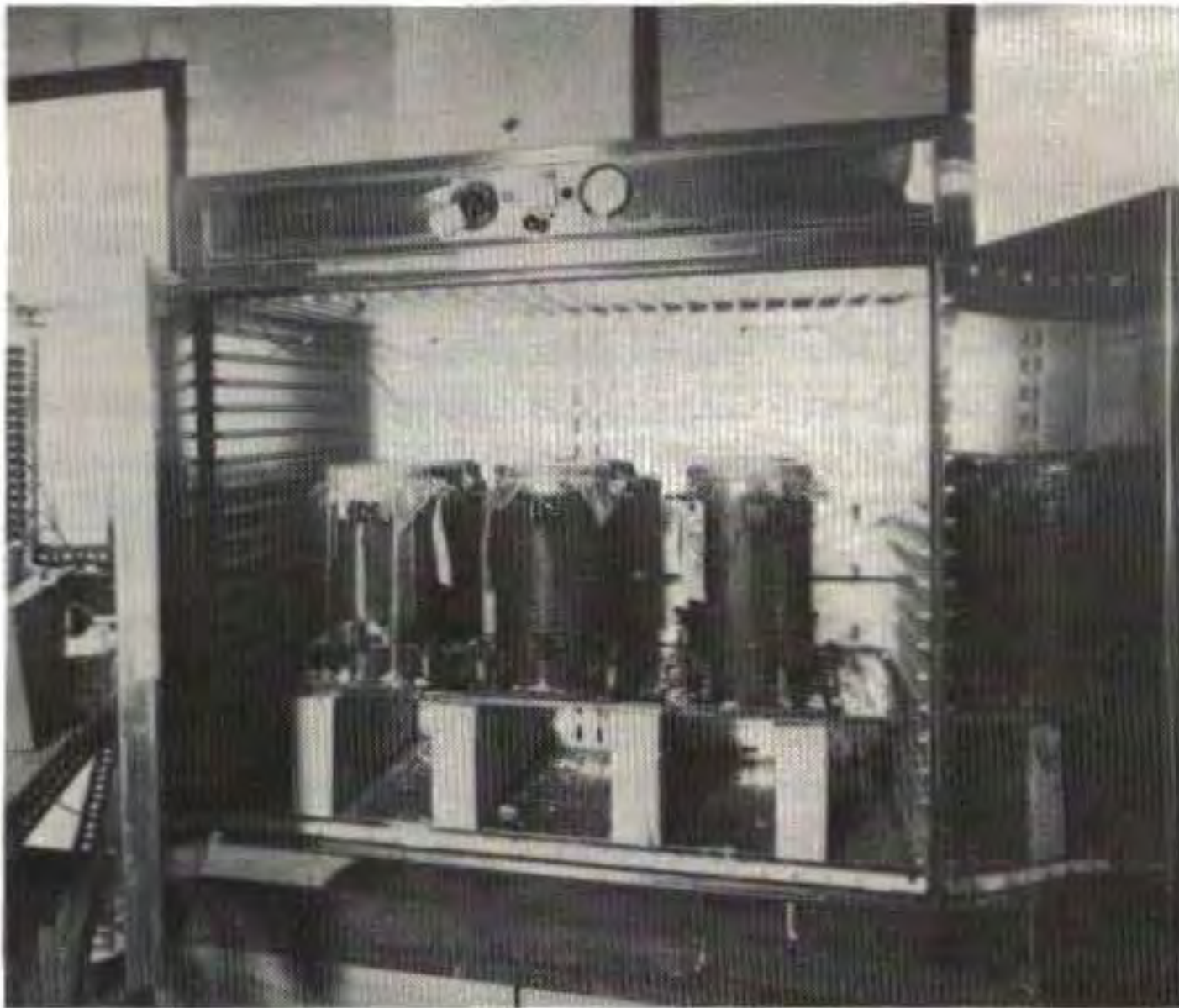


FIG. 97. — Moules cylindriques 16 × 32 protégés par feuille de polyane et placés dans l'étuve pour essai accéléré.

pour l'étuvage. En plus de la composition retenue à l'étude, on réalise une ou deux compositions dont le dosage en ciment est différent de celui retenu. A l'issue des essais à 28 jours, les couples de valeurs $\sigma'_{accélérée} / \sigma'_{28}$ sont portés sur un graphique en vue d'établir la courbe d'étalonnage.

La figure 98 montre la relation $\sigma'_{24 h} / \sigma'_{28}$ pour un ciment donné et deux types de granulats.

L'étalonnage a été réalisé avec trois dosages en ciment : 200, 300 et 400 kg/m³.

Il suffit donc ensuite, pour le contrôle courant, d'exécuter les essais accélérés et d'estimer graphiquement la résistance du béton à 28 jours.

Si un changement intervient quant à la provenance du ciment, un nouvel étalonnage est nécessaire. Chaque temps d'étuvage nécessite également un étalonnage.

La corrélation $\sigma'_{24 h} / \sigma'_{28}$ est très bonne. Notons également qu'il est possible avec un même étalonnage :

- de mettre en étuve en même temps, des prélèvements effectués à des heures différentes jusqu'à 3 h de décalage ;
- de changer de granularité, *D* notamment, pourvu que la nature minéralogique ne soit pas trop différente ;
- d'utiliser indifféremment des moules carton ou des moules métalliques ;
- de faire varier le rapport *E/C* dans des proportions importantes.

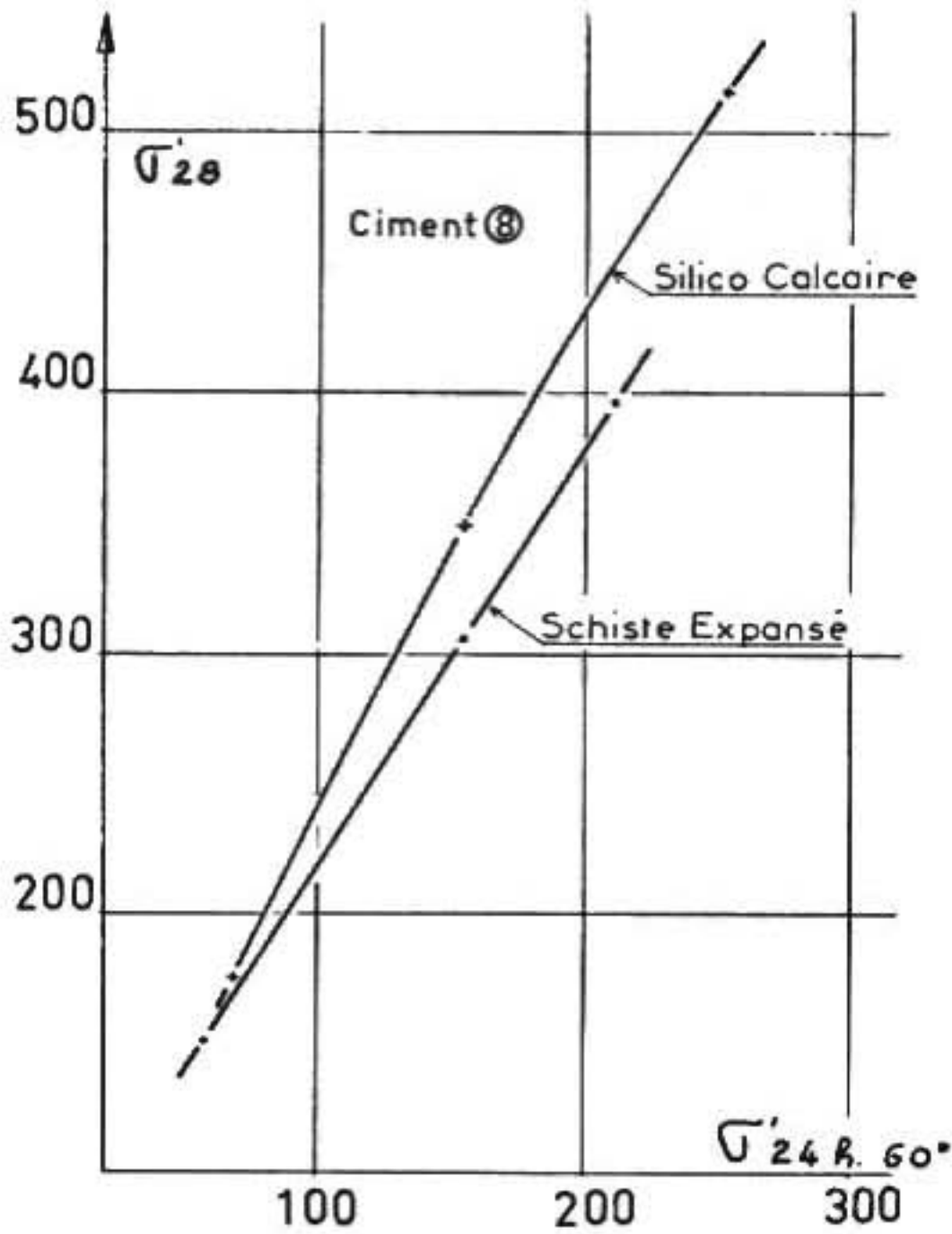


FIG. 98. — Étalonnage « trois points » entre la résistance à 24 heures (essai accéléré) et la résistance à 28 jours (conservation eau à 20° C).

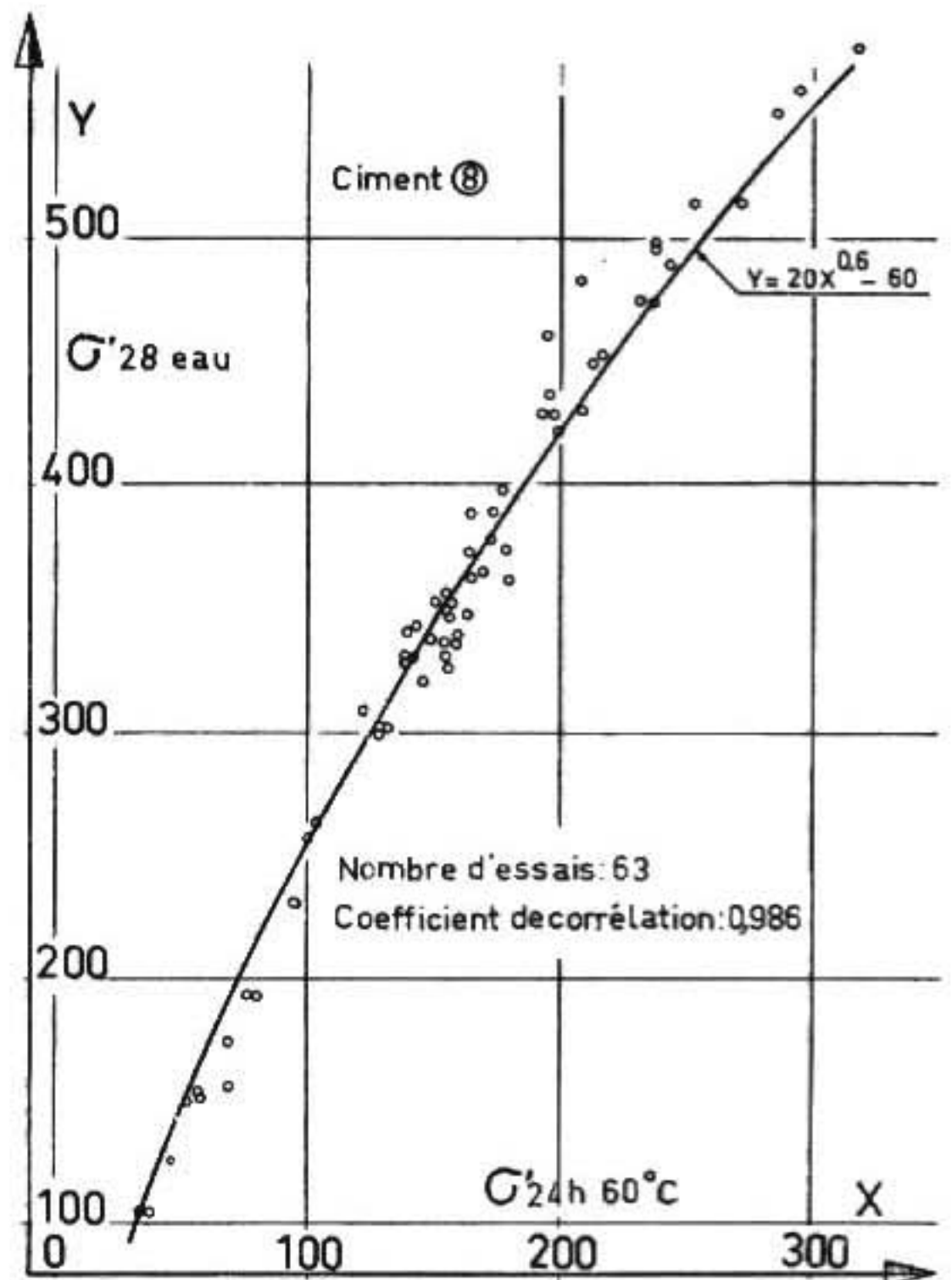


FIG. 99. — Relation entre σ_{24h} et σ_{28j} pour un ciment donné mais concernant douze paramètres; l'influence de ces paramètres semble négligeable.

Une relation mathématique a été établie :

$$\sigma'_{28} = 20 (\sigma'_{acc.})^{0.6} + K.$$

Seul le coefficient K , négatif dans la plupart des cas, est modifié pour un étalonnage donné.

Sur la figure 99 ce sont 63 couples de valeurs qui sont portés. Plusieurs paramètres concernant le mode opératoire, les granulats et principalement le dosage en ciment ont varié dans cette série d'essais.

13.3. Mode opératoire (présentation simplifiée)

Il est présenté ici un mode opératoire sous une présentation simplifiée afin de guider l'opérateur. Il y a lieu de se reporter à la publication pour tout renseignement et détail complémentaires indispensables [4].

A. Mise en fonctionnement de l'étuve

Mettre l'étuve en marche avant la confection des éprouvettes pour s'assurer de son bon fonctionnement. Pour le contrôle des bétons, le thermostat est positionné pour obtenir 60° C en régime constant.

B. Confection des éprouvettes

— remplir les moules cylindriques (métal ou carton) suivant NF P 18 422 ou P 18 423 ;

— recouvrir le dessus des moules à l'aide de deux feuilles de polyane serrées par deux bracelets caoutchouc.

C. Etuvage

— transporter et disposer les éprouvettes dans l'étuve, si possible sur un seul niveau, avec le maximum de précautions pour éviter la ségrégation ;

— fermer l'étuve (ne pas faire fonctionner la ventilation) ;

— inscrire la date et l'heure de mise en étuve et de sortie prévue, sur une ardoise disposée sur la porte de l'étuve ; si cette dernière comporte une minuterie, positionner celle-ci sur le temps choisi (8 à 48 h ; le temps normal étant 24 h).

D. Rupture des éprouvettes

— veiller à ce que le produit de surfaçage soit prêt pour la sortie des éprouvettes ;

— sortir et démouler les éprouvettes ;

— surfacer suivant NF P 18 416 ;

— procéder à l'essai de compression (NF P 18 406) ou de fendage (NF P 18 408).

E. Exploitation des résultats

1. Par graphique :

— se reporter à la courbe d'étalonnage du ciment employé pour évaluer σ'_{28} eau à 20° C.

2. Par la formule $\sigma'_{28} = 20 \times 0,6 + K$:

— à partir des valeurs de $20 \times 0,6$ données dans le tableau XXXII et de la constante C, calculer σ'_{28} eau à 20° C. K est une valeur négative dans la plupart des cas : elle est déterminée pour chaque ciment employé.

TABLEAU XXXII — Valeurs de $20 X^{0,6}$ pour différentes valeurs de la résistance à 24 h

σ'_{24h} soit \times en bars	$20 \times 0,6$	σ'_{24h} soit \times en bars	$20 \times 0,6$	σ'_{24h} soit \times en bars	$20 \times 0,6$
30	154	160	420	290	600
35	169	165	428	295	606
40	183	170	436	300	613
45	196	175	443	305	619
50	209	180	451	310	625
55	221	185	458	315	631
60	233	190	466	320	637
65	245	195	473	325	643
70	256	200	480	330	649
75	267	205	487	335	654
80	277	210	494	340	660
85	287	215	501	345	666
90	297	220	508	350	672
95	307	225	515	355	677
100	317	230	522	360	683
105	326	235	529	365	689
110	335	240	536	370	695
115	345	245	543	375	700
120	353	250	549	380	706
125	362	255	556	385	711
130	371	260	562	390	717
135	379	265	569	395	723
140	388	270	575	400	728
145	396	275	581	405	733
150	404	280	588	410	739
155	412	285	594	415	744

14. CONTRÔLE DES BÉTONS SPÉCIAUX ET DES PRODUITS MANUFACTURÉS

Tous les bétons pour lesquels il est possible de mouler des éprouvettes, ne présentent aucune particularité importante quant à leur contrôle. Il en est ainsi des bétons de granulats légers et des bétons de protection biologique, de masse volumique supérieure à 2 800 kg/m³.

14.1. Contrôle de qualité du béton cellulaire

Le contrôle et les essais du béton cellulaire se feront suivant la norme P 14 306, tout au moins pour ce qui concerne les blocs autoclavés pour murs.

Les essais divers sur béton léger et béton cellulaire en particulier, font partie d'une série de Recommandations de la R.I.L.E.M. — 5 LC (résistance, retrait, absorption, gel...).

La résistance à la compression de ce béton qui varie de 2 à 10 MPa (20 à 100 bars), est déterminée sur des cubes de 10 cm d'arête découpés par sciage dans les blocs prélevés pour le contrôle.

Rappelons que ce béton de masse volumique faible (le plus souvent inférieure à 1 000 kg/m³) et de fabrication particulière est utilisé pour son haut pouvoir d'isolation thermique par rapport à celui du béton dense traditionnel [12].

14.2. Contrôle des produits en béton manufacturés

Pour les éléments de volume restreint fabriqués en usine, les essais de contrôle portent autant sur l'élément lui-même, que sur les éprouvettes confectionnées lors du bétonnage.

D'une façon générale, les divers produits manufacturés (blocs, tuyaux, bordures...) font l'objet d'un Règlement Particulier de la marque NF ou d'un Label Syndical dont la surveillance et le secrétariat sont assurés par le C.E.R.I.B. (Centre d'Études et de Recherche de l'Industrie du Béton Manufacturé) (tableau XXXIII).

14.2.1. Blocs de béton manufacturés

Pour les blocs de maçonnerie en béton manufacturés, les recommandations professionnelles éditées par l'Union Nationale de la Maçonnerie seront très utilement consultées. Elles relèvent des normes NF :

- P 14 301 : Blocs creux de granulats lourds ;
- P 14 304 : Blocs creux de granulats légers.

TABLEAU XXXIII — Produits assujettis au contrôle de la Marque par le CERIB

<i>Produit</i>	<i>Marque de qualité</i>	<i>Textes et règlements</i>	<i>Essais de contrôle</i>
<i>Bordures et caniveaux préfabriqués en béton</i>	<i>Marque N.F.</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Norme NF P 98 302 — Règlement particulier de la marque N.F. 	<p><i>Essais mécaniques :</i></p> <p>Résistance à la flexion par poinçonnement sur 3 appuis ponctuels (3 classes de résistance : 100, 70 et 55 bars).</p> <p><i>Contrôles dimensionnels.</i></p> <p><i>Aspect.</i></p> <p><i>Matières premières et béton frais</i> (dans le cadre de la marque N.F.)</p>
<i>Tuiles en béton</i>	<i>Marque N.F.</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Norme NF P 31 311 — Règlement particulier de la marque N.F. 	<p><i>Essais mécaniques</i></p> <p>Résistance à la flexion sous charge centrée sur deux appuis cylindriques et un appui cylindrique supérieur (appuis adaptés au produit). Résistance > 200 daN</p> <p><i>Contrôles dimensionnels.</i></p> <p><i>Gélimité.</i></p> <p><i>Perméabilité.</i></p> <p><i>Matières premières</i> (marque N.F.).</p>
<i>Dalles en béton</i>	<i>Label syndical</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Cahier des charges syndical. — Règlement d'attribution. — Règlement de contrôle. 	<p><i>Essais mécaniques</i></p> <p>Résistance à la flexion sous charge centrée. Sur deux appuis cylindriques et un appui cylindrique supérieur (appuis adaptés au produit). 3 classes de résistance :</p> <p><i>A, B et C : contrainte de rupture supérieure à 50 bars pour les classes A et B et 40 bars pour la classe C.</i></p> <p><i>Contrôles dimensionnels.</i></p> <p><i>Contrôle physique.</i></p> <p>Absorption d'eau. Masse volumique.</p> <p><i>Matières premières et béton frais.</i></p>

TABLEAU XXXIII (suite)

<i>Produit</i>	<i>Marque de qualité</i>	<i>Textes et règlements</i>	<i>Essais de contrôle</i>
<i>Pavés en béton</i>	<i>Label syndical</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Cahier des charges syndical. — Règlement d'attribution. — Règlement de contrôle. 	<i>Essais mécaniques.</i> Résistance à la traction par fendage (appuis adaptés au produit) contrainte > 40 bars. <i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Contrôles physiques.</i> Absorption d'eau. Masse volumique. <i>Matières premières et béton frais.</i>
<i>Blocs en béton de granulats lourds</i>	<i>Marque N.F.</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Norme NF P 14 301 — Norme NF P 14 402 — Règlement particulier de la marque N.F. 	<i>Essais mécaniques.</i> Résistance à la compression : 3 classes de résistance pour blocs creux : B 40 - B 60 - B 80. 3 classes de résistance pour blocs pleins : B 80 - B 120 - B 160. <i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Aspect.</i> <i>Matières premières et béton frais (dans le cadre de la marque NF)</i>
<i>Blocs en béton de granulats légers</i>	<i>Marque N.F.</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Norme NF P 14 304 — Norme NF P 14 402 — Règlement particulier de la marque N.F. 	<i>Essais mécaniques.</i> Résistance à la compression : 2 classes de résistance pour blocs creux : L 25 - L 40. 2 classes de résistance pour blocs pleins : L 45 - L 70. <i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Aspect.</i> <i>Contrôle physique.</i> Masse volumique. Poids. <i>Variations dimensionnelles.</i> 2 essais de retrait. <i>Matières premières et béton frais.</i>

TABLEAU XXXIII (suite)

<i>Produit</i>	<i>Marque de qualité</i>	<i>Textes et règlements</i>	<i>Essais de contrôle</i>
<i>Blocs en béton cellulaire</i>	<i>Marque N.F.</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Norme NF P 14 306 — Règlement particulier de la marque N.F. 	<p><i>Essais mécaniques.</i> Compression sur cube 10 × 10. 9 classes de résistance selon la masse volumique.</p> <p><i>Essais dimensionnels</i> Mesure sur bloc. Stabilité dimensionnelle sur prisme 4 × 4 × 16 découpés dans les blocs</p> <p><i>Essais physiques.</i> Masse volumique sur cube 10 × 10 desséchés.</p> <p><i>Dispersion.</i> Détermination statistique de la dispersion des résistances et des masses volumiques.</p>
<i>Entrevous en béton de granulats lourds</i>	<i>Marque N.F.</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Norme NP P 14 305 — Règlement particulier de la marque N.F. 	<p><i>Essais mécaniques.</i> Résistance à la flexion par poinçonnement sur deux appuis cylindriques (appuis adaptés au produit).</p> <p><i>Charge de rupture :</i> mini-individuelle : 150 daN; mini-moyenne : 200 daN.</p> <p><i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Aspect.</i> <i>Poids.</i> <i>Matières premières et béton frais</i> (dans le cadre de la marque N.F.)</p>
<i>Boisseaux</i>	<i>Marque N.F.</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Norme NF P 51 321 — Règlement particulier de la marque N.F. 	<p><i>Essais mécaniques.</i> Résistance à la compression moyenne : 100 bars. individuel : 90 bars.</p> <p><i>État de surface.</i></p> <p><i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Contrôles physiques.</i> <i>Masse.</i> <i>Perméabilité à l'air.</i> <i>Résistance à la chaleur.</i> <i>Matières premières et béton frais.</i></p>

TABLEAU XXXIII (suite)

<i>Produits</i>	<i>Marque de qualité</i>	<i>Textes et règlements</i>	<i>Essais de contrôle</i>
<i>Regards de visite sur canalisations d'assainissement</i>	<i>Label syndical</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Cahier des charges syndical. — Règlement d'attribution. — Règlement de contrôle. 	<p><i>Essais mécaniques.</i></p> <p><i>Résistance sur éléments droits :</i> essai de flexion sous charge centrée (appuis adaptés au produit). Section carrée 80 × 80 20 KN/ml 100 × 100 30 KN/ml Section circulaire Ø 80 : 24 KN/ml Ø 100 30 KN/ml</p> <p><i>Résistance sur dalle réductrice :</i> essai de flexion sous charge centrée (appuis adaptés au produit) R = 300 KN</p> <p><i>Essais d'étanchéité.</i> Sur éléments droits. 0,5 bars pendant 30 min.</p> <p><i>Essais sur dispositif de descente :</i> Essais de flexion : pas d'arrachement à 480 daN. Essais d'arrachement : pas d'arrachement à 360 daN.</p> <p><i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Matières premières et béton frais.</i></p>
<i>Tuyau en béton armé et non armé</i>	<i>Agrément inter-ministériel</i>	<ul style="list-style-type: none"> — Fascicule 70 : « Canalisations d'assainissement et ouvrages annexes ». 	<p><i>Essais mécaniques.</i> Essai d'écrasement (appuis adaptés au produit).</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 3 classes de résistance pour tuyaux armés. ● 3 classes de résistance pour tuyaux non armés. ● 1 classe de résistance pour ovoïdes non armés. ● 2 classes de résistance pour ovoïdes armés. <p><i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Recouvrement des armatures.</i> % d'armature. <i>Essais d'étanchéité.</i> <i>Aspect.</i> <i>Matières premières et béton frais.</i></p>

TABLEAU XXXIII (suite)

<i>Produit</i>	<i>Marque de qualité</i>	<i>Textes et règlements</i>	<i>Essais de contrôle</i>
<i>Clôtures en béton</i>	<i>Label syndical</i>	— Cahier des charges syndical.	<i>Essais mécaniques.</i> <i>Dalles, lices</i> : flexion sous moment constant (appuis et centrage adaptés aux produits). <i>Poteaux</i> : flexion avec encastrement d'un appui (adaptés aux produits). <i>Recouvrement des armatures.</i> <i>Essais physiques.</i> Masse volumique. Absorption d'eau. <i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Matières premières et béton frais.</i>
<i>Vide-ordure</i>	<i>Projet de Marque N.F.</i>	— Projets de normes P 81 302 P 81 303	<i>Essais mécaniques</i> Tenue aux chocs. <i>Perméabilité.</i> à l'air à l'eau <i>Recouvrement des armatures</i> acier de levage et de manutention. <i>Contrôles dimensionnels.</i> <i>Matières premières et béton frais.</i>
<i>Tuyaux en béton armé et non armé</i>	<i>Label syndical</i>	— Cahier des charges syndical.	<i>Essais mécaniques.</i> Résistance à la flexion entre deux couteaux (appuis adaptés au produit). ● 3 classes de résistance en béton armé. ● 4 classes de résistance en béton non armé. ● 2 classes de résistance pour les ovoïdes. <i>Essais d'étanchéité.</i> Assainissement circulaire : 1 bar, 30 min. ovoïde : 0,5 bar, 60 min. Usages divers : circulaire : 0,2 bar, 30 min.

Résistance mécanique

Tous les blocs normalisés, typifiés ou non, admis à la marque NF ou non, doivent présenter des résistances minimales à l'écrasement garanties, définies par des classes de résistance.

Ces classes sont désignées par une lettre :

B pour les blocs de béton de granulats lourds ;

L pour les blocs de béton de granulats légers.

suivie d'un chiffre représentant la contrainte de rupture à la compression des blocs, garantie à 95 % selon les tableaux XXXIV et XXXV.

TABLEAU XXXIV — Résistances normalisées des blocs creux

Catégorie des blocs creux Classe de résistance	En béton lourd			En béton léger	
	B 40	B 60	B 80	L 25	L 40
Contrainte de rupture rapportée à la section brute minimale du bloc (en bars)	40	60	80	25	40

TABLEAU XXXV — Résistances normalisées des blocs pleins

Catégorie des blocs pleins Classe de résistance	En béton lourd			En béton léger	
	B 80	B 120	B 160	L 45	L 70
Contrainte de rupture rapportée à la section brute du bloc (en bars)	80	120	160	45	70

Ces résistances doivent être atteintes au plus tard à 28 jours ou au moment de la livraison si celle-ci a lieu avant ce délai.

L'attention est tout particulièrement attirée sur la signification de ces classes de résistance garanties à 95 %. Par exemple, la dénomination B 60 veut dire que 95 % des blocs constituant une livraison présentent une résistance à l'écrasement au moins égale à 60 bars. On voit ainsi tous les avantages qui s'attachent à une telle garantie, notamment pour la sécurité des bâtiments.

L'Entrepreneur devra indiquer dans sa commande la classe de résistance choisie en fonction des conditions auxquelles il doit satisfaire.

CHAPITRE 7

LE PERSONNEL ET L'ÉQUIPEMENT DU LABORATOIRE

C'est volontairement que nous traitons les deux aspects dans un seul chapitre afin de faire ressortir leur complémentarité. Mais il y a lieu d'insister surtout sur la nécessité d'une qualification et d'une motivation des personnes chargées du contrôle du béton. Il est tout à fait illusoire de penser qu'avec un matériel très élaboré (et coûteux) on soit assuré de réaliser un contrôle satisfaisant.

Le béton est un matériau relativement complexe de par le nombre de paramètres qui ont une influence sur lui. C'est par ailleurs un matériau qui, à l'état frais, nécessite des appréciations visuelles fréquentes.

Aussi, la qualification nécessaire est-elle autant affaire d'expérience que de connaissances théoriques.

1. LE PERSONNEL

Tout niveau d'instruction peut donner satisfaction pour un travail donné dans un laboratoire, à condition que l'encadrement soit apte à prodiguer la formation adéquate nécessaire.

Autant que pour tout autre métier, sinon plus, la formation « sur le tas » est nécessaire surtout pour les interventions sur chantier.

Il faut distinguer deux cas principaux pour apprécier les besoins en personnes :

- le laboratoire fixe,
- le laboratoire de chantier.

1.1. Laboratoire fixe

Son importance varie beaucoup. Le plus petit peut être celui d'une agence locale d'un Bureau de Contrôle par exemple. Dans ce cas, trois à quatre personnes constituent l'équipe :

- un Chef de Laboratoire (niveau Ingénieur), il est souvent polyvalent pour le sol et les matériaux de construction,
- un ou plusieurs techniciens capables de réaliser tous les essais courants avec les opérations qui s'y rattachent comme les prélèvements, les préparations et les études du béton, les essais in-situ pour le sol et les structures,
- une secrétaire,
- un employé pour toute autre tâche.

Dans les laboratoires un peu plus importants comme les laboratoires régionaux d'organismes importants, il est souvent fait appel à des spécialistes de plusieurs disciplines. Mais pour ce qui concerne le béton proprement dit, la compétence et la motivation du Chef de Laboratoire suffisent pour former et entraîner des techniciens et des employés de formation diverses et de niveau d'études générales satisfaisantes.

Nous n'énumérerons pas le personnel nécessaire aux laboratoires importants comme les centres de recherche.

1.2. Laboratoires de chantier

Les tâches qui sont confiées aux personnes de ces laboratoires sont très diverses ; il s'agit parfois d'un simple suivi de la qualité des matériaux et du béton.

Dans d'autres cas, il s'agit de missions complètes comprenant le choix des granulats et du ciment, les études préliminaires du béton, la réalisation des essais de convenance et le contrôle normal du béton.

De plus, elles sont souvent amenées à donner des avis dans les cas difficiles. Cette formule d'intervention nécessite la présence de personnes très qualifiées et, surtout, possédant une bonne expérience.

La connaissance des normes étrangères et des essais correspondants est parfois nécessaire dans les laboratoires de chantier implantés à l'étranger.

2. L'ÉQUIPEMENT

Nous donnons ci-après une liste de matériel qui n'a qu'un caractère de guide pour les responsables chargés d'équiper, souvent rapidement, un laboratoire.

Cette liste n'est donc pas limitative. On n'y trouvera pas les appareils destinés à des essais particuliers et à certaines recherches. L'acquisition des divers équipements indiqués se fera en fonction des exigences du cahier des charges.

Par ailleurs, afin de ne pas commettre d'ommissions et pour éviter toute gêne à de nouveaux fabricants et revendeurs, c'est volontairement que nous n'avons pas fait figurer une liste de fournisseurs.

Il est assez facile de se procurer noms et adresses des fournisseurs auprès des organismes et laboratoires répertoriés en annexe.

2.1. Liste du matériel à acquérir suivant la catégorie du laboratoire

A titre indicatif, nous avons établi cinq catégories de laboratoires suivant l'importance de l'ouvrage et la destination du béton :

1. Camionnette itinérante équipée.
2. Laboratoire de chantier pour contrôle courant (courte durée).
Laboratoire élémentaire d'une usine de Béton Prêt à l'Emploi.
3. Laboratoire de chantier pour ouvrages importants.
4. Laboratoire fixe type « Bureau de contrôle » ; laboratoire général d'un producteur de Béton Prêt à l'Emploi.
5. Laboratoire fixe type « Centre d'Essais ».

Bon nombre de matériels indiqués ne sont pas indispensables mais susceptibles d'être nécessaires suivant les cas.

Par ailleurs, bien qu'indiqués dans le tableau, certains essais peuvent faire double emploi comme la flexion et le fendage par exemple.

Pour la catégorie 5, la liste ne constitue qu'une indication forcément limitative.

2.1.1. Équipement général

<i>Matériel et appareils</i>	<i>Catégorie de laboratoire</i>				
	1	2	3	4	5
Voiture genre fourgonnette		x	x	x	x
Paillasse ou table de travail massive et non absorbante	x	x	x	x	x
Chariot de laboratoire				x	x
Matériel élémentaire de préparation (seaux, pelles, truelles, éprouvettes graduées, sacs plastiques, bacs de séchage...)	x	x	x	x	x
Bascule automatique de 30 kg graduée 5 ou 10 g	x	x	x	x	x
Balance de 3 kg graduée 1 g			x	x	x
Réchaud à gaz		x	x	x	x
Étuve 150° C avec ventilation commandée		x	x	x	x
Thermomètres —20, +100° C	x	x	x	x	x
Thermo-hygromètre enregistreur			x	x	x
Chronomètre	x	x	x	x	x
Produits et appareils spéciaux pour analyses chimiques diverses				x	x
Salle ou enceinte climatisée avec température et hygrométrie programmables					x

2.1.2. Granulats

<i>Matériel et appareils</i>	<i>Catégorie de laboratoire</i>				
	1	2	3	4	5
Trémies ou bacs de stockage			x	x	x
Sécheur spécial à granulats					x
Tamis :					
Série complète normalisée (diamètre 250 ou 315 mm) de mailles 0,08 à 40 mm (au-delà si nécessaire)				x	x
Tamis :					
Série réduite pour sable, de mailles 0,08, 0,16, 0,315, 0,63, 1,25, 2,50, 5 mm et série complète pour gravier > 5 mm	x	x	x		
Équivalent de sable (produit et appareillage)	x	x	x	x	x
Bocal à bord rodé pour masse volumique			x	x	x
Los-Angeles (machine)				x	x
Échantillonneur à granulats			x	x	x

2.1.3. Ciment

<i>Matériel et appareils</i>	<i>Catégorie de laboratoire</i>				
	1	2	3	4	5
Moules 4 × 4 × 16 cm			×	×	×
Sable normal (doses préparées)			×	×	×
Malaxeur spécial			×	×	×
Table à chocs			×	×	×
Local spécial de conservation à 20° C et 50 % H. R. pour retrait				×	×
Bac de conservation eau à 20° C (possibilité d'utiliser celui du béton)			×	×	×
Presse de flexion spéciale pour 4 × 4 × 16 ou dispositif adapté à une presse de compression			×	×	×
Presse de compression de 150 KN (~ 15 T) et dispositif pour rupture des prismes 4 × 4. Ce peut être une presse de flexion à béton			×	×	×
Appareil Blaine pour finesse de mouture				×	×
Rétractomètre pour mesure du retrait et du gonflement sur 4 × 4 × 16				×	×

2.1.4. Béton frais

<i>Matériel et appareils</i>	<i>Catégorie de laboratoire</i>				
	1	2	3	4	5
Tamis (ceux utilisés pour granulats) pour mémoire			×	×	×
Cône d'Abrams	×	×	×	×	×
Maniabilimètre L.C.P.C.			×		×
Malaxeur de 100 l			×	×	×
Moules métalliques ou en matière plastique pour cylindres de 11, 16 ou 25 cm de diamètre			×	×	×
Moules en carton pour cylindres de 11 ou 16 cm	×	×	×	×	×
Contre-moules pour cylindres en carton	×	×	×	×	×
Table vibrante					×
Aiguille vibrante Ø 25 mm électrique (37 mm pour cylindre de 25)		×	×	×	×
Aiguille vibrante Ø 25 mm sur groupe à essence portatif	×	×			
Règle d'arasement des éprouvettes	×	×	×	×	×

2.1.5. Béton durci

<i>Matériel et appareils</i>	<i>Catégorie de laboratoire</i>				
	1	2	3	4	5
Bac de conservation pour éprouvettes dans l'eau à 20° C ± 2		×	×	×	
Bac de conservation pour éprouvettes dans l'eau à 20° C ± 1					×
Appareillage de surfacage avec hotte; soufre, sable			×	×	×
Presse de compression de 1 200 ou 1 500 KN (~ 150 T) classe C (B si possible)		×			
Presse de compression de 1 500 KN (~ 150 T) classe B (A si possible)			×	×	
Presse de compression de 2 500 KN (~ 250 T) classe A					×
Dispositif de fendage adaptable sur presse de compression		×	×	×	×
Presse de flexion pour prisme 10 × 10 et plus			×	×	×
Scléromètre	×	×	×	×	×
Auscultateur dynamique				×	×
Pachomètre pour repérage des armatures			×	×	×
Carotteuse et scie à béton			×	×	×
Extensomètre par cylindre				×	×
Perméamètre 1 à 25 bars					×

CHAPITRE 8

LE BÉTON PRÊT A L'EMPLOI PRÉPARÉ EN USINE (B.P.E.)

Tous les tests décrits dans le présent livre sont bien entendu destinés également au béton préparé en usine. Mais il est quelques particularités que nous ferons ressortir dans ce chapitre.

La production du béton préparé en usine augmente régulièrement par rapport à l'ensemble du béton produit. Il existe aujourd'hui en France près de 1 000 points de production.

Les avantages du B.P.E. sont connus :

- livraison en tout lieu, sur simple appel téléphonique,
- fourniture de béton de toute classe même de bétons spéciaux (béton chaud, béton de granulats légers...),
- garantie d'un certain niveau de qualité...

Certains inconvénients existent également mais qui ne sont pas toujours du fait du producteur. Il s'agit en particulier des cadences irrégulières de livraison inhérentes aux encombrements de la route. Pour le chantier, cela se traduit par des précipitations à certains moments et des temps morts à d'autres.

1. LA COMMANDE

Du fait qu'il s'agit d'un produit commercialisé, le contrôle revêt un aspect plus important et plus strict. La norme NF P 18 305 d'avril 1966, en révision, fournit des éléments indispensables aussi bien pour la commande que pour la réception.

Deux types de béton y sont prévus :

a) D'abord les bétons à caractéristiques normalisées (BCN) qui sont commandés à l'usine à partir de caractères donnés : résistance à la compression, consistance, dimension maximale D des granulats. La commande comporte toujours les caractères suivants et dans l'ordre :

- nature du ciment,
- classe granulaire,
- consistance,
- classe de résistance.

Exemple : BCN - CPALC 325 - 0/25 - P - B 350.

P signifie qu'il s'agit d'un béton plastique ;

B 350 étant la résistance. Il existe plusieurs classes de résistance pour les BCN : B 150, B 200, B 250, B 300, B 350.

b) Ensuite les bétons à caractéristiques spécifiées (BCS) par lesquels l'acheteur précise d'autres caractères supplémentaires comme le dosage en ciment, l'emploi d'un adjuvant ou d'un ciment spécial.

Signalons que les BCS sont les plus demandés. La demande d'un dosage en ciment plutôt qu'une résistance (cas de beaucoup de cahiers des charges) en est la principale raison. Il faut toutefois signaler qu'un dosage minimal est imposé dans le cas du BCN :

$$C \geq \frac{B + 250}{\sqrt[5]{D}}$$

B étant la classe de résistance du béton commandé et D la dimension maximale du granulats.

2. CENTRALES DE MALAXAGE ET CENTRALES DE DOSAGE

Il existe des centrales de malaxage ; ce sont les plus nombreuses en France. Le béton est dosé et malaxé à l'usine. Dans ce cas le transport a lieu dans des camions (toupies) qui maintiennent l'homogénéité durant le temps de transport.

La norme prévoit un temps de transport maximal d'une heure et demie. Le temps de transport lui-même dans le camion n'influe pratiquement pas sur l'homogénéité, contrairement à ce qui est bien souvent dit à ce sujet.

Les centrales de dosage, peu utilisées en France, permettent uniquement le dosage des constituants à l'usine. Le malaxage se fait en route dans des camions malaxeurs spéciaux.

3. CONSISTANCE A L'ARRIVÉE AU CHANTIER

Un des avantages du Béton Prêt à l'Emploi est de pouvoir faire livrer du béton de consistance donnée. Il est d'ailleurs assez frappant de constater que bien des utilisateurs qui se souciaient bien peu de la plasticité du béton fabriqué sur leur chantier, deviennent d'un coup très connaisseurs et exigeants quand il s'agit de B.P.E. Mais c'est une très bonne chose et je dirais même qu'il faut être exigeant sur ce point quand on achète du béton préparé en usine.

Dans le chapitre 5, nous avons montré l'importance d'une consistance satisfaisante pour la partie d'ouvrage à bétonner. La norme relative au B.P.E. prévoit de préciser à la commande cette consistance.

Il est donc tout à fait normal que le béton livré corresponde au désir de l'acheteur sans tomber dans une exagération ridicule consistant par exemple à refuser un camion pour lequel la consistance du béton à la livraison est appréciée au millimètre.

Il faut cependant parfois refuser des bétons dont le slump est trop éloigné de celui précisé à la commande, aussi bien pour du béton trop sec que pour du béton trop fluide. Bien sûr, il vaut mieux être amené à ajouter de l'eau dans un béton trop ferme que de mettre en œuvre un béton manifestement trop mou. Mais c'est là l'affaire du producteur qui doit gâcher en conséquence à l'usine afin d'éviter tout malentendu.

Il arrive néanmoins dans certains cas, notamment pour des temps de transport longs sous le soleil avec utilisation de granulats secs et de ciment chaud, qu'il soit nécessaire de corriger la consistance à l'arrivée au chantier.

4. ESSAIS DE CONTRÔLE OU ESSAIS D'INFORMATION

Dans le cas du B.P.E., il est exclus de juger de l'acceptation ou du refus du béton au vu de résultats obtenus à partir d'essais d'information (éprouvettes conservées à proximité de l'ouvrage). Il est nécessaire que la conservation des éprouvettes soit bien définie afin que les aléas du chantier (notamment la conservation) ne puissent influencer sur les résultats. Il s'agit bien ici de juger des caractères intrinsèques du béton, de sa qualité en tant que matériau (voir chapitre 3).

De plus, comme le producteur est équipé pour réaliser des essais en laboratoire à 20° C, les essais sur éprouvettes peuvent être contradictoires.

Notons qu'il s'agit essentiellement de la résistance à l'écrasement d'éprouvettes normalisées.

5. RENDEMENT. DENSITÉ

Il arrive que les utilisateurs se plaignent au sujet du rendement ; ils pensent parfois que le béton acheté « ne faisait pas le m^3 ». Que faut-il en penser ?

A notre avis, il est vraiment peu vraisemblable que les producteurs de B.P.E. se livrent sciemment à une pratique malhonnête. Étant donné l'automatisme et la synchronisation des centrales sur le plan des pesées, le poids de ciment effectivement mis dans les gâchées doit correspondre à la composition affichée. Même si le béton « ne fait pas le m^3 » pour des raisons diverses, la quantité correcte de ciment (élément le plus coûteux du béton) ayant été mise dans la gâchée, le béton se trouverait ainsi surdosé en ciment.

Par ailleurs, il est très difficile d'apprécier exactement le volume de béton dans un coffrage donné. Bien souvent, il n'est pas tenu compte de la déformation du coffrage qui peut être importante.

Deux méthodes permettent cependant de vérifier le rendement d'une livraison :

a) Méthode du « rendement »

Elle consiste à préparer un coffrage très rigide aux dimensions précises, d'y mettre une charge complète de béton, de le vibrer et d'apprécier, soit la correspondance parfaite, soit le non remplissage ou le débordement.

b) Méthode de la densité

Le camion doit passer sur un pont-bascule, en charge et à vide, afin de déterminer le poids net de béton. On compare ensuite ce poids au poids du m^3 théorique annoncé par le producteur et multiplié par le nombre de m^3 que doit contenir le camion.

Le plus souvent on effectue la mesure de densité du béton compacté sur un échantillon dans un volume parfaitement connu, un moule cylindrique à éprouvette par exemple. Mais ce procédé, très utilisé au laboratoire pour vérifier rapidement la concordance entre densité théorique et densité réelle, peut conduire à une imprécision trop grande dans le cas qui nous préoccupe.

6. HOMOLOGATION A LA MARQUE N. F.

Les avantages du béton préparé en usine ne peuvent être garantis sans de sévères conditions de fabrication. La marque NF s'est développée dans ce domaine afin de garantir l'aptitude des centrales à fournir des bétons répondant aux prescriptions de la norme NF P 18 305. Homologuée en avril 1966, elle a permis de préciser les conditions de fabrication des bétons, d'en fixer les caractéristiques, les qualités garanties, les essais aptes à les vérifier ainsi que les conditions de livraison.

Cette normalisation porte essentiellement sur la définition de bétons à caractéristiques normalisées : nature et classe du ciment, granularité, consistance et résistance à la compression. Elle aboutit à une classification des bétons, pour une vente à la résistance.

L'homologation des centrales est effectuée sous la responsabilité de l'A.F.N.O.R. par le Comité particulier NF-BÉTONS PRÉPARÉS EN USINE, assisté d'une Commission d'estampillage dont les fréquentes réunions permettent une gestion efficace. Le secrétariat de cette Commission est assuré par le C.E.B.T.P. Dès qu'une demande de licence est déposée, une visite détaillée de la centrale est faite et donne lieu à un compte rendu à la Commission d'estampillage : elle porte sur les installations mêmes de la centrale, son fonctionnement, son contrôle interne (laboratoire, essais), la régularité de sa fabrication (moyenne, dispersion des bétons livrés par la centrale).

Au 1^{er} juillet 1977, plus de 300 licences sont accordées : cela représente environ 30 % du nombre de centrales existantes et 60 % du volume de béton préparé en usine. La liste détaillée des licences peut être demandée.

Les centrales assurent leur autocontrôle, et ce dernier est pris en compte par la marque NF dès l'attribution de la licence. Le contrôle de la marque est réalisé par des visites inopinées, des prélèvements contradictoires et par l'établissement de documents statistiques sur les caractéristiques des bétons vendus.

Ceci permet à la Commission d'estampillage d'estimer la validité de l'autocontrôle et de juger les fabrications des centrales (fig. 100).

6.1. Autres agréments

Il existe quelques agréments complémentaires donnés par certaines administrations : la S.N.C.F., l'E.D.F. et le Ministère de l'Équipement.

Pour ce dernier, les spécifications demandées sont plus contraignantes que celles de l'A.F.N.O.R. On note en particulier que :

- l'agrément n'est donné qu'à des centrales de malaxage possédant déjà la licence NF ;
- l'agrément est donné à la centrale pour certaines compositions déterminées ;
- le « memento pour l'agrément des usines fabriquant du béton » distingue trois catégories suivant les performances du béton (tableau XXXVI).

TABLEAU XXXVI — Classes de qualité correspondant aux catégories dans l'agrément des centrales B.P.E. pour le Ministère de l'Équipement

<i>Catégorie du béton fabriqué en usine</i>	<i>Classe de qualité</i>
PREMIÈRE	Béton exceptionnel Béton de qualité
DEUXIÈME	Béton courant
TROISIÈME	Béton courant (à contrôle simplifié)

7. RÉVISION DE LA NORME

L'industrie du B.P.E. s'est beaucoup développée depuis 1966. La norme P 18 305 qui a donné satisfaction dans l'ensemble ne correspond plus toujours aux conditions actuelles en matière de conformité notamment.

Aussi un projet de révision a été présenté à l'A.F.N.O.R. Les principales modifications demandées sont les suivantes :

a) quatre catégories de consistance au lieu de trois caractérisées par un affaissement au cône :

Béton ferme F	0 à 3 cm	(± 1 cm)
Béton plastique P	4 à 8 cm	(± 2 cm)
Béton mou M	9 à 14 cm	(± 3 cm)
Béton très mou TM	≥ 15 cm	(± 3 cm)

b) le dosage minimal en ciment devient :

$$\frac{220 + B}{\sqrt[5]{D}} \text{ au lieu de } \frac{250 + B}{\sqrt[5]{D}}$$

étant donné qu'il s'agit maintenant de dimension tamis et non plus de dimension passoire. Le dosage minimal reste ainsi le même ;

c) l'acceptation du béton, caractérisée par sa résistance à la compression, fait intervenir des interprétations statistiques (voir § 2.5).

CHAPITRE 9

CONTRÔLE DES BÉTONS AU MOYEN ORIENT BÉTONNAGE PAR TEMPS CHAUD

La récession de l'activité des pays occidentaux s'accompagne d'un développement assez marqué de l'activité de notre profession dans les pays du Moyen-Orient notamment. Les raisons, d'ordre économique, sont connues. Bon nombre d'entreprises se trouvent donc confrontées assez brusquement à toutes sortes de problèmes nouveaux. Si les marchés sont importants, ils sont obtenus en contrepartie de délais de réalisation quelquefois extrêmement courts.

Il faut, en quelques mois, voire en quelques semaines, transplanter et transporter à 5 000 km ou plus toute une partie de l'entreprise (personnel et matériel), réaliser des études préliminaires sur les matériaux mal connus, faire face aux questions d'« intendance »...

Cela déborde du cadre du contrôle du béton, mais il faut signaler également les difficultés d'ordre linguistique pour les entreprises françaises. Le manque de pratique de la langue anglaise est un handicap pour nous aussi bien dans les recherches de marchés et l'établissement des contrats, que dans le déroulement des opérations techniques diverses.

Pour le contrôle, c'est une gêne également, car on est souvent amené à utiliser et à rédiger des documents en anglais.

On note donc une orientation nouvelle de l'ensemble de la profession pour l'exportation en général. Les interventions des entreprises françaises dans le domaine des travaux publics, très appréciées, notamment en Afrique, ne sont pas nouvelles.

Par contre, l'exportation de notre industrie du bâtiment et de Génie Civil au Moyen-Orient est naissante mais toujours appréciée localement.

A l'occasion du BATIMAT 1977, le stand de la Fédération Nationale du Bâtiment était consacré pratiquement exclusivement à l'exportation. Il y était indiqué que l'augmentation du chiffre d'affaires est de 40 % par an (fig. 101).

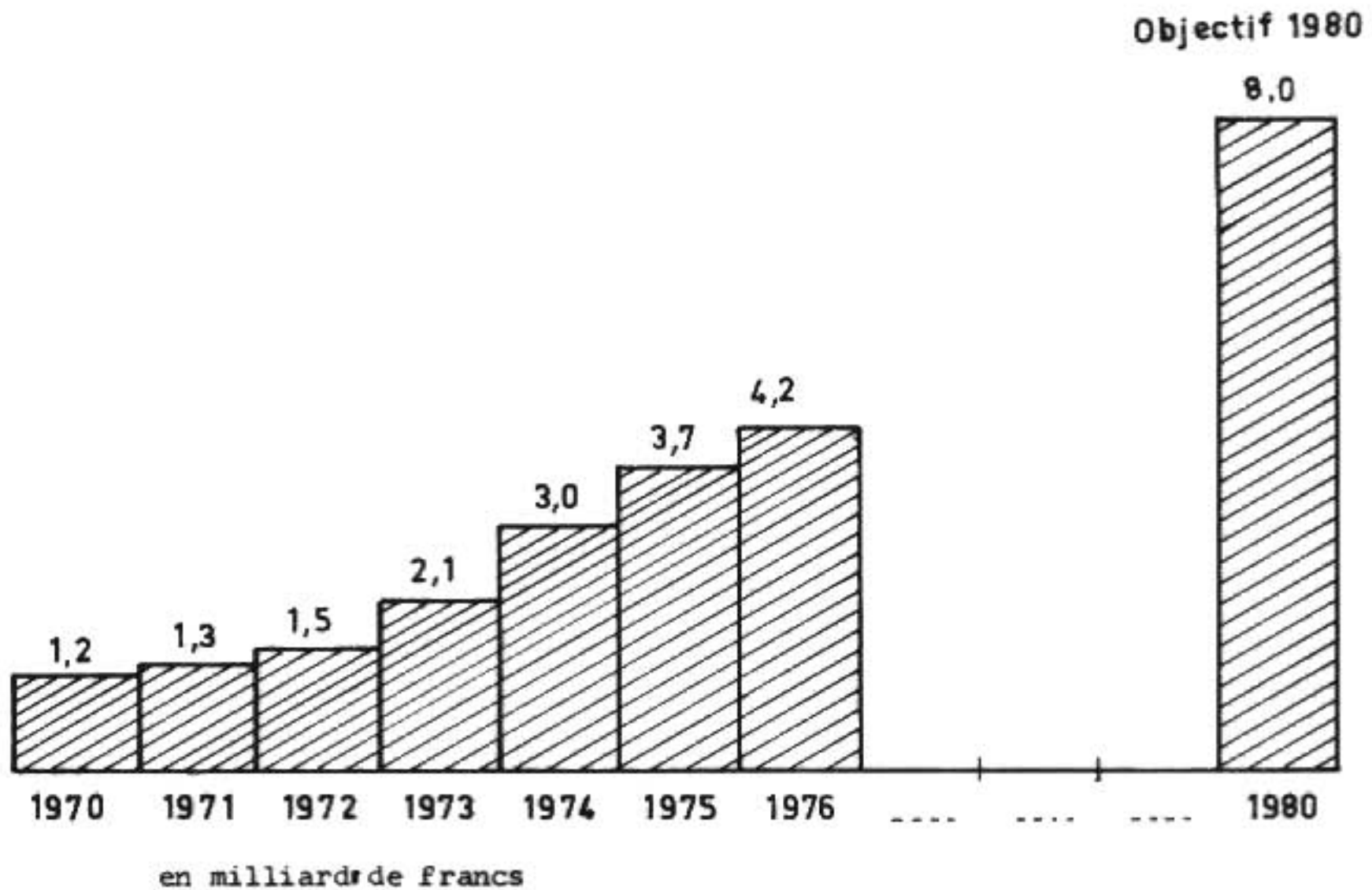


FIG. 101. — Évolution du chiffre d'affaires de la profession à l'exportation (doc. F.N.B.).

Il est vivement conseillé aux entreprises de consulter les divers organismes professionnels comme les Fédérations du Bâtiment et des Travaux Publics et les Chambres de Commerce, avant de signer des contrats ou d'entreprendre des travaux importants.

En ce qui concerne la partie Assistance technique proprement dite, les laboratoires spécialisés sont sollicités. En ce qui concerne le béton qui nous préoccupe plus particulièrement ici, signalons que le C.E.B.T.P. (Centre Expérimental de recherches et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics) est souvent appelé pour des études préliminaires, des opérations de « dépannage » à caractère très ponctuel ou des missions d'assistance pour toute la durée d'un chantier.

Dans les quelques pages du chapitre, nous nous bornerons à faire ressortir les points particuliers. Les responsables du béton à l'entreprise seront ainsi un peu moins pris au dépourvu ; c'est du moins ce que je souhaite.

1. LE CLIMAT

Tout ce qui a été envisagé jusqu'à maintenant en ce qui concerne le contrôle du béton concernait essentiellement nos climats tempérés. Dans les climats chauds comme ceux du Moyen-Orient, les essais revêtent un aspect nouveau pour nous en raison essentiellement de la température qui atteint parfois 50° C à l'ombre. La température moyenne annuelle est environ de 25° C plus élevée qu'en France.

Mais les variations de température sont parfois assez grandes : à Téhéran en Iran, ville située à 1 500 m d'altitude et proche de montagnes élevées de 5 000 m, la température peut descendre à - 10° C voire -15 en période froide. Par contre l'été, il arrive que la température atteigne 45° C et plus.

On peut noter par contre, une certaine répétitivité des températures du jour et de la nuit dans certains pays. Sur la figure 102, on remarque une nette symétrie pour tous les jours de la semaine et ceci parfois pour plusieurs semaines de suite. Dans le cas présent (Djeddah-Arabie Saoudite en novembre), le graphe d'enregistrement fait ressortir une température de 30° C à midi et 23° C à six heures le matin.

Les variations d'hygrométrie sont importantes également non seulement d'un pays à un autre mais d'une région à une autre. De plus, dans un même site, des variations très grandes d'humidité peuvent se produire dans une même journée. A Djeddah en Arabie où l'humidité relative est couramment de 85 %, nous avons pu constater une baisse d'hygrométrie jusqu'à 15 % en quelques heures par suite d'un changement brutal de la direction et de la vitesse du vent.

A Téhéran, on note couramment 20 à 30 % d'humidité relative moyenne.

Pour les éléments en béton de faible épaisseur, ces phénomènes sont évidemment néfastes à leur qualité et il y a lieu de ne pas perdre de temps pour surveiller et renforcer les mesures contre l'évaporation et la déshydratation trop rapide du béton.

2. ESSAIS D'INFORMATION ET ESSAIS DE CONTRÔLE

Dans ces climats particuliers, les essais d'information (conservation des éprouvettes identique à celle du béton de l'ouvrage) sont difficilement réalisables et ne sont pas toujours utiles du fait que le durcissement est accéléré. Rappelons que les essais d'information sont nécessaires pour apprécier une résistance suffisante en vue d'un décoffrage, d'une mise en tension...

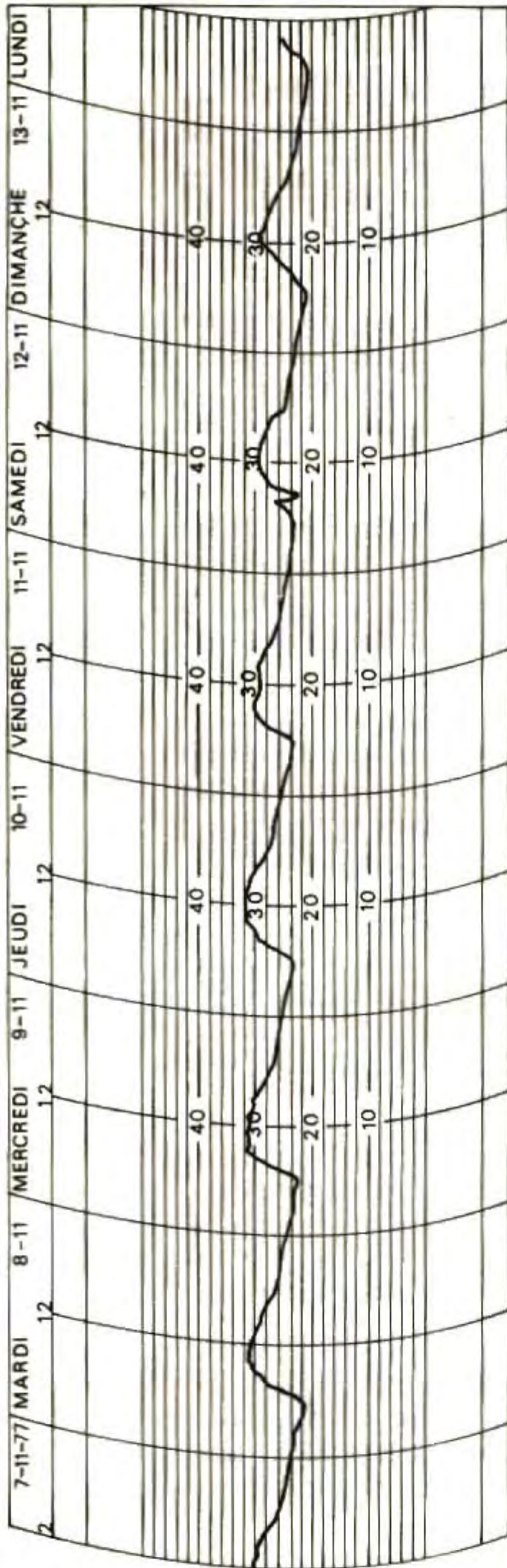


FIG. 102. — Variation de la température journalière à Djeddah en Arabie Saoudite au mois de novembre.
On remarquera la symétrie d'un jour à l'autre (doc. S.A.E.).

Quelques essais d'information sont cependant parfois utiles pour vérifier si, compte tenu du durcissement rapide, la résistance se développe malgré tout normalement dans le temps.

Par contre, les essais de contrôle pour lesquels, rappelons-le, la conservation des éprouvettes se fait à 20°C , ± 2 dans l'eau, sont très pratiqués dans les climats chauds. On est ainsi assuré de suivre la qualité intrinsèque du béton, compte tenu que ce sont les constituants de base qui apportent le plus de variation dans la qualité du béton.

Il faut veiller à ce que les éprouvettes soient confectionnées assez rapidement après le gâchage. Chaque fois que cela est possible, le béton est transporté rapidement après le gâchage pour une fabrication des éprouvettes au laboratoire. Ceci évite une attente variable des éprouvettes souvent stockées au soleil.

REMARQUE : Une valeur plus élevée de la température de l'eau pour les essais de contrôle (25°C par exemple) serait souhaitable dans le cadre du contrôle en pays chauds :

- elle serait plus facile à obtenir et à maintenir constante ;
- elle permettrait des conditions de durcissement plus proches de la réalité.

Mais c'est là une question qui devrait être traitée sur le plan de la normalisation internationale, comme l'ISO par exemple.

Nous sommes prêts, en ce qui nous concerne, à participer à une éventuelle mise au point d'un tel projet.

3. CONSISTANCE DU BÉTON FRAIS

En raison toujours de la température élevée, la diminution de plasticité du béton dès la fin du gâchage est rapide. Ainsi, avec des granulats secs, il n'est pas rare de constater un slump de 4 cm, cinq minutes après gâchage alors qu'il était de 8 à 10 cm à la fin de l'introduction de l'eau. Il faut donc éviter de gâcher des bétons de plasticité ferme (trop peu d'eau) sous risque de ne pas pouvoir mettre en place le béton correctement, même avec vibration.

On s'attachera à maîtriser au maximum les délais entre le gâchage et la mise en place dans les coffrages. C'est bien entendu plus facile à écrire qu'à réaliser, mais c'est là un des paramètres nouveaux importants dont il faut tenir compte.

4. LES CONSTITUANTS

Il arrive parfois de nous plaindre d'une trop grande diversité de ciments mis à notre disposition sur le marché français ! Une grande diversité de granulats existe également dans notre pays. C'est un privilège pour le constructeur.

La situation au Moyen-Orient est totalement différente. Ou bien le choix est nul (c'est le cas fréquent pour le ciment) ou bien ce choix existe (cas du sable) mais c'est un choix à faire entre des matériaux de qualité médiocre.

4.1. Le ciment

Il existe peu de cimenteries dans les pays du Moyen-Orient ce qui entraîne outre un choix inexistant, un manque de concurrence évident pour la qualité. Très souvent, pour les ouvrages importants comme en Arabie Saoudite, un seul ciment importé est utilisé par plusieurs entreprises. Le producteur de ciment (Coréen, Grec, Japonais...) organise l'approvisionnement dans un port avec des moyens exceptionnels de telle sorte qu'il est pratiquement impossible pour une entreprise de se procurer d'autres ciments avec des prix compétitifs.

Les classes réelles de résistance à la compression sont souvent plus basses que la moyenne des ciments de la métropole. Quand le choix est possible, il faut préférer les ciments à faible teneur en C_3A (Aluminate tricalcique) en raison de la température élevée et de l'échauffement qui s'ensuivrait dans la masse du béton.

4.2. Les granulats

Les points qui soucient le plus le constructeur pendant la durée du chantier sont la propreté et la finesse des sables. Pour ce dernier point, on se reportera au § 4.2.2.7.

Les études préliminaires concernant ces points particuliers ainsi que la réalisation d'éprouvettes pour tester la résistance du béton, nécessitent l'essai en métropole des granulats. Mais les quantités sont restreintes étant donné le mode de transport (aérien). Si l'on ajoute à ce fait que les échantillons en sont d'autant moins représentatifs, il est indéniable que c'est là une des difficultés majeures pour les études préliminaires du béton destiné à ces pays.

4.2.1. La propreté des granulats

Le manque, pour ne pas dire l'absence d'eau douce dans certains pays empêche pratiquement tout lavage des granulats. Les éléments les plus propres sont ceux extraits de lits de rivières anciennes, dans lesquels il subsiste parfois suffisamment d'eau pour une propreté acceptable des granulats. Le traitement de l'eau de mer pour un tel lavage, quand il est envisageable, grèverait trop les coûts de production.

La valeur de l'Équivalent de Sable est très variable d'un pays à l'autre, d'une région à une autre, d'une livraison à une autre. On est quelquefois amené à fabriquer le béton avec du sable dont l'E.S. est de 30 ou 40. La fourchette des valeurs s'étale de 30 à 85 avec une moyenne qui ressort à environ 65. Bien entendu, l'incidence sur la résistance du béton n'est pas négligeable [9].

Pour les sables les plus sales, la mesure de l'Équivalent de Sable modifié ou tous autres essais est recommandée afin de pouvoir identifier les fines utiles et les fines nuisibles.

4.2.2. La finesse des sables

Sans inclure les erreurs d'extraction ou d'approvisionnement, la variation de la granulométrie des sables, notamment dans la partie fine, est grande. Par ailleurs, la proportion moyenne d'éléments fins est élevée, ce qui entraîne une augmentation du dosage en eau, préjudiciable à la qualité du béton.

La surveillance des approvisionnements de sable par les analyses granulométriques et les mesures de propreté fréquentes, sont donc indispensables. Elles permettent dans certains cas, de corriger le dosage en ciment en vue de conserver un rapport C/E acceptable.

En Iran par contre (Téhéran notamment) les sables sont obtenus souvent par concassage de calcaires alluvionnaires. Dans ce cas la finesse adéquate du sable est obtenue par un réglage bien adapté des concasseurs et des broyeurs.

4.3. Les adjuvants

Les retardateurs de prise constituent à priori des adjuvants prisés dans de tels climats. Mais les retardateurs qui procurent un durcissement rapide dès la fin de prise sont à proscrire bien souvent.

Les plastifiants et quelquefois les fluidifiants employés comme réducteur d'eau sont très avantageusement employés pour palier le manque de résistance engendré le plus souvent par les sables trop fins et la qualité très moyenne des ciments. Dans un cas comme dans l'autre il faut augmenter le rapport C/E .

Les produits de cure, quand ils sont appliqués soigneusement et d'une façon très précoce, évitent un retrait hâtif et important. L'emploi de ces produits est cependant d'un prix de revient relativement élevé. Il faut qu'un autre procédé de cure soit employé quand il n'y a pas de produit de cure.

4.4. L'eau

Pour ne pas sortir du cadre du sujet, nous devrions aborder plus particulièrement la question de l'eau de gâchage. Mais ce point ne peut être séparé de l'ensemble du problème de l'eau pour les constructions au Moyen-Orient.

Comme chacun sait, l'eau est extrêmement rare là-bas ; étant donné les besoins en eau pour les chantiers (bétonnage, nettoyage, cure, besoins personnels, etc.), il est de plus en plus fréquent de traiter l'eau de mer quand le chantier n'est pas trop éloigné de la mer. A Téhéran, l'eau est moins rare puisqu'il est possible de l'extraire de la nappe assez profonde.

Un traitement très employé consiste donc en une distillation de l'eau de mer, à basse température (50° C). Les usines montées pour ce traitement sont équipées de chaudières de petite taille permettant ainsi l'installation du nombre d'unités nécessaires au fur et à mesure des besoins de l'entreprise. De plus, la maintenance de ce matériel est plus aisée ; la production d'eau dessalée n'est pas arrêtée par la réparation ou l'entretien d'une unité. Le personnel est relativement restreint : deux à trois personnes assurent le fonctionnement d'une petite usine.

L'énergie de chauffage est bien entendu procurée par le fuel qui est bon marché dans ces pays.



FIG. 103. — Transport de l'eau de mer dessalée jusqu'au chantier (doc. S.A.E.).

Le transport de l'eau jusqu'au chantier se fait souvent par camion citerne (fig. 103). Des réservoirs en toile plastifiée reçoivent l'eau des camions (fig. 104); ils sont disposés à proximité des points principaux d'utilisation, sous des abris qui évitent un trop fort ensoleillement.



FIG. 104. — Stockage de l'eau sur chantier dans des bâches en toile plastifiée sous abri solaire (doc. S.A.E.).

La température de cette eau pour le gâchage du béton est toujours assez élevée (souvent de 30 à 35° C) ce qui ne facilite pas la mise en œuvre.

Signalons que l'eau ainsi obtenue pourrait être consommée par le personnel à condition d'y ajouter quelques éléments minéraux pour des raisons gustatives essentiellement.

5. L'ÉTUVAGE

Il peut sembler paradoxal de parler d'étuvage dans des climats chauds. Mais pour des raisons de planning, dans la confection de certains éléments préfabriqués avec des ciments volontairement choisis peu « rapides », il arrive d'avoir recours à l'étuvage.

Le procédé utilisé sera obligatoirement la diffusion de vapeur. Tout moyen qui procurerait une accélération de la déshydratation est à rejeter.

L'étuvage réalisé dans de bonnes conditions pour des éléments de faible épaisseur (prédalles par exemple) donne parfois de très bons résultats. Il permet d'éviter une attente des éléments au soleil avant la mise en cure humide, tout en assurant des conditions favorables d'humidité (vapeur) pendant le traitement.

Le retrait des premières heures est ainsi mieux maîtrisé.

6. PRINCIPALES PRÉCAUTIONS POUR LE BÉTONNAGE PAR TEMPS CHAUD

Le ciment est un liant hydraulique ; il fait prise dans l'eau. Une hygrométrie basse accompagnée de vent a un effet néfaste sur le durcissement du béton surtout pour les éléments de faible épaisseur.

Sachant par ailleurs que la température optimale pour un bon durcissement se situe entre 12 et 18° C suivant la nature du ciment, on comprend la complexité du problème.

On peut juger de l'importance des trois facteurs :

- humidité de l'air,
- température,
- vitesse du vent

à l'aide du diagramme de la figure 105. L'effet de la vitesse de l'air est très important.

Dans certaines contrées où le changement brutal de la direction du vent s'accompagnant d'une grande vitesse de celui-ci, d'une augmentation de la température et d'une baisse rapide de l'hygrométrie, la vitesse d'évaporation de l'eau du béton passe de 1 à 3 kg/m²/h dans la même journée.

6.1. Temps de prise

L'influence de la température est assez marquée sur le temps de prise. Les temps de prise, début et fin, sont d'autant plus courts que la température est élevée et que le ciment est « nerveux » (ciment à hautes performances initiales et riche en C₃A). M. Venuat [23] donne des temps de prise pour deux ciments différents et deux températures (tableau XXXVII). On remarque que les temps sont pratiquement divisés par deux pour une température passant de 20 à 40 °C.

TABLEAU XXXVII — Début et fin de prise en heures du ciment à 20 et à 40 °C

Température Prise	20 °C		40 °C	
	Début	Fin	Début	Fin
CPA 400	3,00	5,30	1,30	3,00
CLK 325	5,00	7,30	2,30	4,00

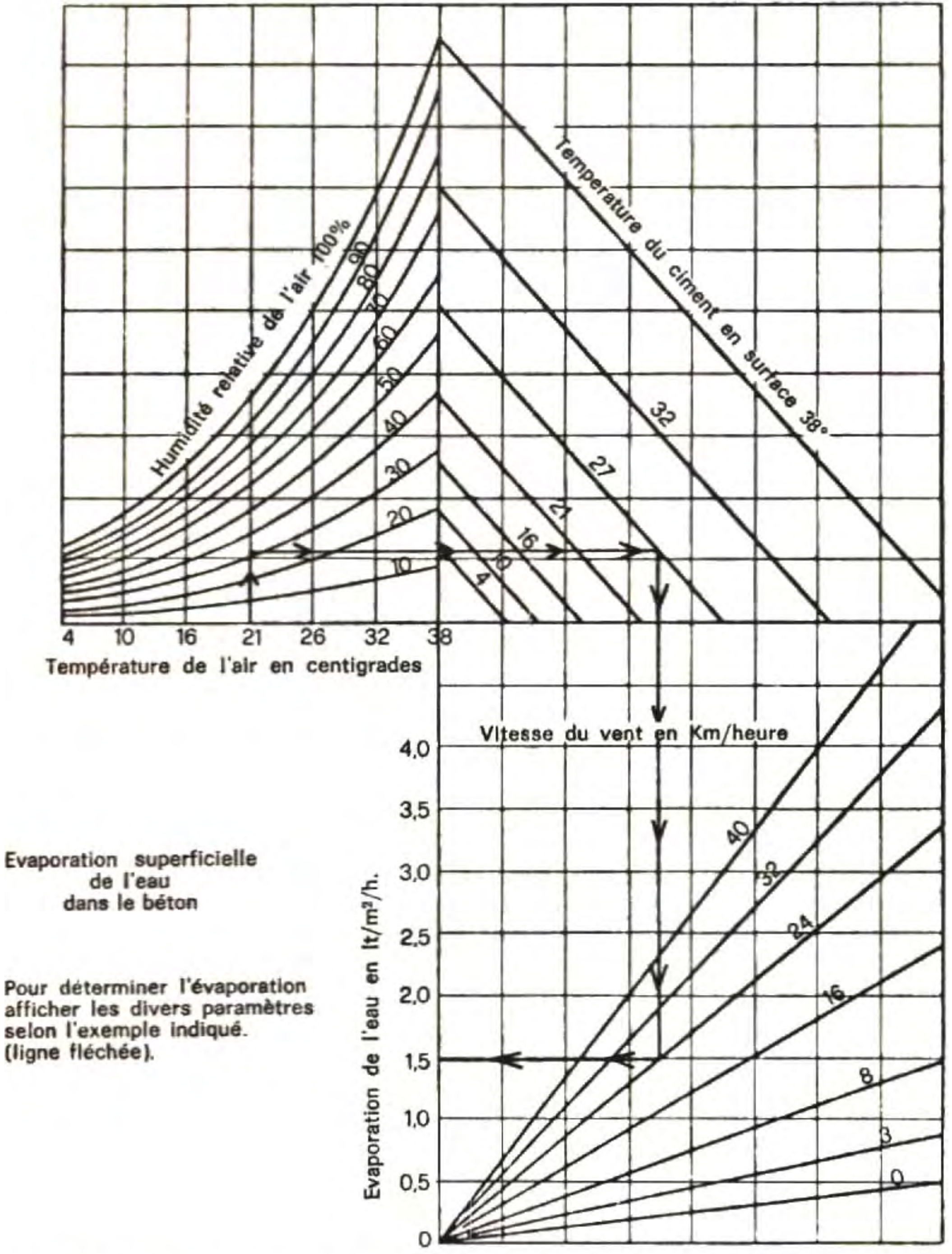


FIG. 105. — Diagramme permettant de chiffrer l'évaporation de l'eau dans le béton en fonction de l'humidité de l'air, de la température et du vent (comité ACI 305, 1971). Attention : L'évaporation est dangereuse lorsqu'elle dépasse 1 litre par m²/H. Dans ce cas, il faut absolument protéger le béton.

6.2. Durcissement initial

A titre indicatif, nous avons porté dans le tableau XXXVIII l'accroissement de résistance à 24 h pour des températures passant de 20 à 40 °C pour 6 ciments de nature différente. Les écarts sont très importants à 24 h suivant les ciments y compris pour des ciments de même classe comme les C.P.A. 400 ($\sigma'_{40^{\circ}\text{C}}/\sigma'_{20^{\circ}\text{C}} = 1,17 \text{ à } 1,92$) [4].

Le comité ACI 305 donne par ailleurs, les résistances à la compression à 1 jour et 28 jours pour des températures variables (fig. 106).

TABLEAU XXXVIII — Accroissement de résistance du béton pour des températures passant de 20 à 40 °C et pour différents types de ciment

Ciment	Résistance à 24 h à		Accroissement
	20 °C	40 °C	
CPA 400	135	260	1,92
CPA 400	205	330	1,61
CPA 400	230	270	1,17
CPA 325	82	186	2,27
CPALC 325	125	234	1,87
CLK 325	35	222	6,34

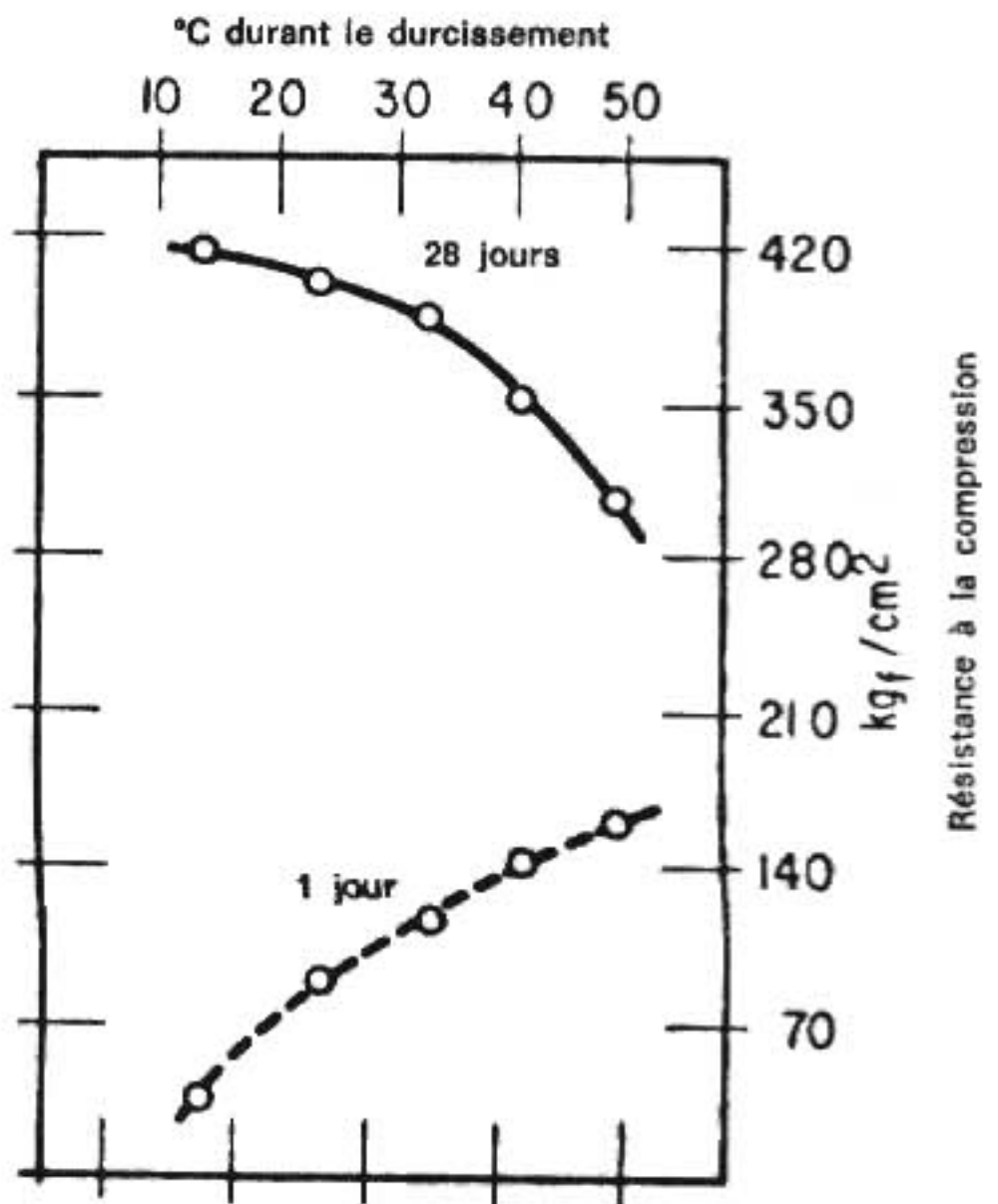


FIG. 106. — Variation de la résistance en compression à 1 et 28 jours en fonction de la température pendant le durcissement (comité ACI 305).

6.3. Retrait du béton frais

Nous avons vu que les pertes d'eau par évaporation peuvent être importantes. Elles ont comme principales conséquences :

- une moins bonne hydratation du liant, d'où des baisses de résistance possibles ;
- une porosité plus grande d'où une moins bonne imperméabilité ;
- un retrait avant prise important et pouvant être supérieur au retrait final constaté pendant le durcissement.

6.4. Précautions à prendre

6.4.1. Concernant les constituants

a) *Ciment* :

Utiliser de préférence des ciments à faible chaleur d'hydratation (teneur en aluminat tricalcique C_3A faible). Les ciments contenant beaucoup de laitier ont une chaleur d'hydratation faible mais ils sont plus sensibles à la déshydratation. De toute manière, ces ciments ne se rencontrent que rarement dans les pays qui nous intéressent ici.

Le dosage en ciment sera limité aux exigences concernant les résistances mécaniques.

L'utilisation d'un ciment « chaud » n'a pas beaucoup d'influence sur la température finale du béton. Bien sûr, si un choix est possible, on préférera le ciment « refroidi ».

b) *Granulats*

La température des granulats, étant donné la masse de ceux-ci par m^3 de béton, a une grande importance sur la température finale du béton. Il faut donc, quand c'est possible, limiter l'ensoleillement sur les stocks de granulats. Une baisse de $10^\circ C$ sur les granulats entraîne une baisse de $6^\circ C$ sur la température du béton frais.

c) *Eau*

La température de l'eau a une influence non négligeable sur celle du béton. L'utilisation de glace en paillettes pouvant aller jusqu'à 50 % de l'eau de gâchage, est bien intéressante dans certains cas extrêmes de climat très chaud pour des volumes de béton raisonnables. L'utilisation de 50 kg de glace par m^3 de béton dont les constituants sont à $30^\circ C$ et pour une température extérieure de $30^\circ C$ également, permet un abaissement de $9^\circ C$ de la température du béton frais. La température extérieure a une influence également sur la quantité d'eau de gâchage (fig. 107).

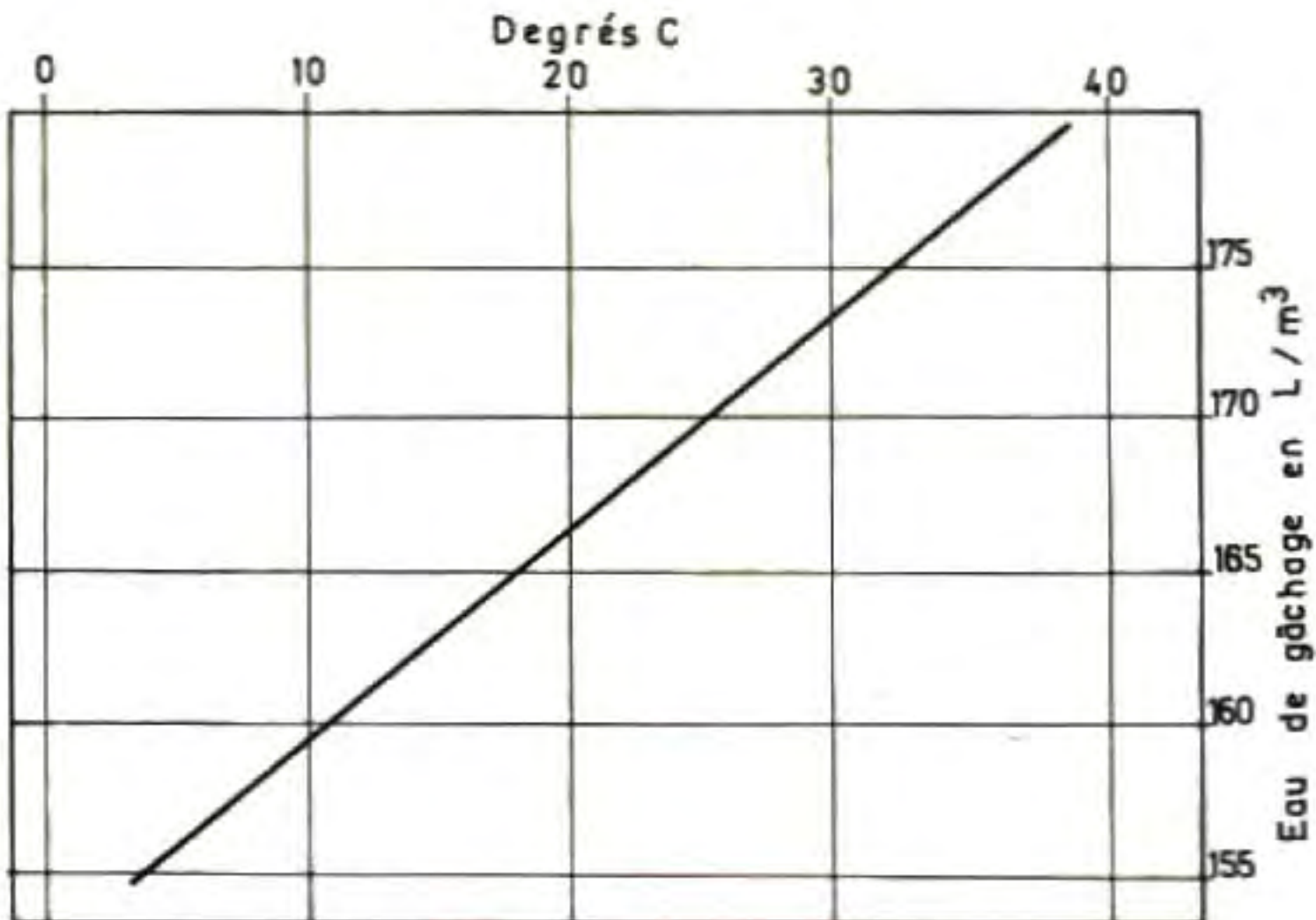


FIG. 107. — Variation approximative de la quantité d'eau de gâchage en fonction de la température ambiante à consistance constante.

d) *Adjuvants*

Il est conseillé d'utiliser des adjuvants :

- réducteur d'eau,
- retardateur de prise,
- entraîneur d'air.

Dans le cas qui nous intéresse, c'est-à-dire en climat chaud, des essais préalables in situ sont indispensables.

e) *Calcul de la température du béton frais*

En prenant comme chaleur spécifique 0,2 pour les granulats et le ciment et 1 pour l'eau, la formule suivante permet de calculer la température du béton frais :

$$t_b = \frac{Et_e + 0,2(Gt_g + Ct_c)}{E + 0,2(G + C)}$$

avec :

- t_b température du béton frais ;
- t_e, t_g, t_c températures respectives de l'eau, des granulats et du ciment ;
- E, G, C masses respectives de l'eau, des granulats et du ciment.

On voit tout de suite qu'un kg d'eau apporte cinq fois plus de calories qu'un kg de ciment ou de granulat.

6.4.2. Concernant la mise en œuvre

On essayera de :

- protéger du soleil le maximum de matériel (malaxeur, bennes, coffrages, canalisations des pompes);
- bétonner l'après-midi ou en fin de journée;
- humidifier les coffrages bois;
- attendre le moins possible entre le gâchage et la mise en place dans les coffrages.

6.4.3. Cure du béton

Toutes les protections connues peuvent être utilisées suivant les cas :

- arrosage fréquent (sans utiliser d'eau trop froide afin d'éviter les chocs thermiques);
- sable humide;
- paillasons, sacs humides...
- feuilles en matière plastique à condition de ne pas créer une accélération de l'air sous le plastique par effet de courant d'air;
- poursuivre la cure suffisamment longtemps;
- utilisation d'un produit de cure appliqué suffisamment tôt après le bétonnage et le décoffrage.

7. LE PERSONNEL DU LABORATOIRE-BÉTON

Les cadences de travail sont souvent assez difficiles; il faut être présent à toute heure pour des bétonnages. Le responsable du laboratoire doit se donner à de nombreuses tâches : étude de nouvelles compositions, recherche d'un meilleur sable, suivi du ciment, installation de nouveaux matériels, contrôles des centrales...

Le souci majeur du responsable reste cependant la formation du personnel qui lui est affecté car dans bien des cas, pour les chantiers importants, le nombre de personnes ne pose pas de problème. Mais ce sont souvent des employés ou des ouvriers « retirés » de l'exécution sur le chantier, sans qualification particulière, qui sont amenés à effectuer les essais et les mesures diverses.

Néanmoins, avec une motivation des intéressés et une aptitude à former de la part du responsable, les résultats peuvent être satisfaisants.

8. RENSEIGNEMENTS DIVERS

A toutes fins utiles, des adresses de divers organismes de la profession et des administrations concernées, sont données ci-après. Pour les questions techniques particulières, les demandes d'intervention directe sur les chantiers au Moyen-Orient ainsi que pour les analyses et essais, les différents laboratoires de la profession seront, bien entendu, contactés.

Organisations professionnelles

- Fédération Nationale du Bâtiment (F.N.B.). Service des Questions Internationales 33, avenue Kléber – 75784 Paris cedex 16 – Tél. : 720.10.20 – Télex : FEDE-BATI 611 975 F
- Fédération Nationale des Travaux Publics (F.N.T.P.) 3, rue de Berri – 75008 Paris Tél. : 563.11.44
- Fédération Internationale Européenne de la Construction (F.I.E.C.) 26, rue La Pérouse – 75016 Paris – Tél. : 720.10.20
- Vos Chambres de Commerce.

Organismes Ministériels et services publics

- D.B.T.P.C. (Ministère de l'Équipement). Direction du Bâtiment, des Travaux Publics et de la Conjoncture 34, rue de la Fédération – 75015 Paris – Tél. : 577.30.10

Plus particulièrement chargée de développer les exportations des activités du Bâtiment. Coopération scientifique et technique, industrielle et commerciale, procédures ou financement, foires, expositions, etc.

- C.F.C.E. (Centre Français du Commerce Extérieur) – Ministère de l'Économie et des Finances 10, avenue d'Iéna – 75783 Paris cedex 16 – Tél. : 723.61. 23

Établissement public qui a pour mission de favoriser l'expansion économique sur les marchés étrangers.

- Douanes et Statistiques – Ministère de l'Économie et des Finances 8, rue de la Tour-des-Dames – 75436 Paris cedex 16 – Tél. 874.91.50
- COFACE (Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieur) – Ministère de l'Économie et des Finances 32, rue Marbeuf – 75008 Paris – Tél. : 256.60.20

Garantit pour son propre compte ou pour le compte de l'Etat les opérations de commerce extérieur pour lesquelles elle délivre plusieurs types de garanties : crédit, risque économique, investissements, prospection, etc.

Services régionaux COFACE :

- Bordeaux 75, rue de la Porte Dijeaux – 33000 Bordeaux – Tél. : (56)44.49.26
- Dijon Résidence Talant – 29, rue de Talant – 21000 Dijon – Tél. : (80)05.50.56

- Lille 2, place Kennedy – 59420 Mouvaux – Tél. : (20)70.17.19
Lyon 22, rue Grolée – 69001 Lyon – Tél. : (78)37.45.98
Marseille 83, rue Sylvabelle – 13001 Marseille – Tél. : (91)37.45.54
Nancy 14, avenue du Général-Leclerc – 54000 Nancy – Tél. : (28)24.25.29
Nantes 4, place du Commerce – 44000 Nantes – Tél. : (40)73.00.42

— B.F.C.E. (Banque Française du Commerce Extérieur) – Ministère de l'Économie et des Finances 21, boulevard Haussmann – 75427 Paris cedex 09 – Tél. : 247.13.33

Avec le concours de la Banque de France, en liaison avec les autres banques et la COFACE, met en œuvre des procédures spécifiques adaptées aux besoins de crédits des exportateurs et destinées à faciliter le financement de leurs opérations à l'étranger.

— L'A.C.T.I.M. (Agence pour la Coopération Technique Industrielle et Économique) Ministère de l'Économie et des Finances.

Stages en France : 6, rue Pierre-Charron – 75008 Paris – Tél. : 359.97.41

Missions à l'étranger : 16, rue des Pyramides – 75001 Paris – Tél. : 260.31.15

— SEFRANE (Service pour l'emploi des Français à l'étranger) 4, impasse d'Antin – 75008 Paris – Tél. : 359.59.60 et 62.63

Collecte, centralise et diffuse les offres et demandes d'emploi des Français désirant travailler à l'étranger.

— S.V.P. ... P.M.E. – Ministère du Commerce Extérieur – Tél. : 555.92.20 à Paris

— C.N.P.F. « La Voix des Entreprises ». Répondeur journalier – Tél. : 720.26.73

Le Service des Questions Internationales de la Fédération Nationale du bâtiment

— *publie des documents :*

Fiches d'information sur les pays suivants :

Arabie Saoudite — Belgique — Gabon — Koweït — Nigeria — Pays-Bas — République Fédérale d'Allemagne — Tunisie

Conseils à l'exportation (généralités).

— organise des réunions d'études sectorielles,

— renseigne, documente, informe,

— répond à vos questions :

Un bureau d'information est à votre disposition. Vous pouvez téléphoner au 720.10.20, poste 3013, ou rendre visite, 27, rue Dumont d'Urville - 75016 Paris.

— accueille des Maîtres d'ouvrage, entrepreneurs, investisseurs étrangers à la recherche d'entreprises françaises.

Toute correspondance doit être adressée à :

Fédération Nationale du Bâtiment. Service des Questions Internationales
33, avenue Kléber – 75784 Paris cedex 16.

ANNEXE A

RÉGLEMENTATION TECHNIQUE (au 31 décembre 1977)

Les différentes références données ici ne constituent qu'un guide forcément incomplet, du fait, notamment, que la réglementation n'est pas figée ; tous les ans de nouveaux textes sont à l'étude.

1. QUELQUES SIGLES

<i>Sigles</i>	<i>Signification</i>
CCAG	Cahier des Clauses Administratives Générales
CCAP	Cahier des Clauses Administratives Particulières
CCBA	Conception et Calcul des ouvrages et constructions en Béton Armé (BA 68)
CCS	Cahier des Clauses Spéciales
CCTG	Cahier des Clauses Techniques Générales
CPC	Cahiers des Prescriptions Communes (appelés maintenant CCTG)
CPS	Cahier des Prescriptions Spéciales
DBTPC	Directeur du Bâtiment, des Travaux Publics et de la Conjoncture
DTU	Documents Techniques Unifiés
MEL	Ministère de l'Équipement et du Logement

2. D.T.U. (liste arrêtée au 15 octobre 1977)

A compter du 1^{er} août 1977, le décret n° 77-648 rend obligatoires comme pièces constitutives des marchés publics de bâtiment en tant que fascicule du C.C.T.G. :

- les Cahiers des Charges D.T.U.,
- les Règles de Calculs D.T.U.

ainsi que leurs annexes, modifications, additifs ou erratums.

2.1. Cahiers des Charges D.T.U. et documents connexes

N ^o	Dénomination	Publié dans les Cahiers du CSTB
14-1	<i>Cuvelage</i> additifs	1333 sept 1975 1428 à 1430 mars 1977
20	<i>Maçonnerie et bétons</i> : cahier des charges applicable aux travaux de maçonnerie béton armé, plâtrerie additifs	975 juil./août 70 1431 mars 1977
20-11	<i>Parois et murs</i> de façades en maçonnerie	1352 déc. 1975
20-12	<i>Conception</i> du gros œuvre en maçonnerie des toitures destinées à recevoir un revêtement d'étanchéité	1459 sept. 1977
23-1	<i>Béton banché</i> : cahier des charges applicable aux travaux de parois et murs en béton banché	1359 janv./fév. 1976
23-2	<i>Béton caverneux</i> : granulats lourds sans éléments fins	272 sept. 1958
23-3	<i>Béton caverneux</i> à granulats lourds avec éléments fins	322 oct. 1959
23-6	<i>Béton caverneux</i> de laitier expansé ou de pouzzolane avec ou sans éléments fins	432 fév. 1962
43	<i>Étanchéité des toitures</i> additif	1353 déc. 1975 1460 sept. 1977

2.2. Prescriptions ayant valeur de cahier des charges D.T.U

N ^o	Dénomination	Publiés dans les cahiers du CSTB
21-3	<i>Dalles et volées d'escalier</i> préfabriquées	992 oct. 1970
21-4	<i>Chlorure de calcium</i> et adjuvants contenant des chlorures	1467 oct. 1977
65-6	<i>Panneaux chauffants</i> à tubes métalliques enrobés dans le béton	803 juin 1968
65-7	<i>Planchers chauffants</i> par conducteurs et câbles électriques enrobés dans le béton	1156 oct. 1972

2.3. Règles de calcul D.T.U.

<i>Dénomination abrégée</i>	<i>Dénomination</i>	<i>Publication</i>
Règles BA 68	Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé (CCBA 68)	Éditions Eyrolles
Règles th. K	Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction (pas encore applicable)	Cahier CSTB 1478 nov. 1977
Règles th. (titre II)	Règles de calcul des déperditions de base des bâtiments	Cahier CSTB fév. 1975
Règles th. G	Règles de calcul des coefficients G et G_1 (pas encore applicable)	Cahier CSTB 1479 nov. 1977
Règles FB	Méthodes de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton	Cahier CSTB 1270 oct. 1974
Fondations	Règles pour le calcul des fondations superficielles (D.T.U. 13-1)	Cahier CSTB 784 fév. 1968
Règles NV 65	Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions annexes (éd. déc. 1976)	Éditions Eyrolles
BAEL	Calcul Béton Armé aux États Limites	en cours

Les documents publiés par le CSTB sont obtenus auprès du CSTB, 4, avenue du Recteur-Poincaré - 75 782 Paris Cedex 16 et ceux publiés par les Éditions Eyrolles - 61, boulevard Saint-Germain 75-240 Paris Cedex 05.

3. EXÉCUTION DES OUVRAGES D'ART

3.1. Documents généraux

Ici encore, nous donnons une liste restreinte ; elle concerne principalement les ouvrages en béton.

<i>Dénomination</i>	<i>Références</i>	<i>Observations</i>
Code des Marchés Publics	Décret 64-729 17 juillet 1964	Dernière mise à jour 10-2-1975
Cahier des clauses administratives générales applicables aux Marchés Publics de Travaux (CCAG)	Décret 76-87 21 janvier 1976	
Guide des Marchés de Travaux Publics à l'intention des maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre	Décret 13-55 28 octobre 1970	

3.2. Cahier des Prescriptions Communes C P C (maintenant CCTG)

Applicable aux marchés de travaux publics passés au nom de l'État par les services de l'Équipement et du Logement.

<i>Dénomination</i>	<i>Références</i>	<i>Observations</i>
<i>Fascicule 1</i> : Dispositions générales et communes aux diverses natures de travaux	Décret 68-1258 26 déc. 1968	
<i>Fascicule 3</i> : Fourniture de liants hydrauliques	Décret 68-1003 24 oct. 1968	Réédition 1975
<i>Fascicule 4</i> : Fourniture d'acier et autres métaux		
<i>Titre I</i> : pour béton armé	Décret 67-856 11 sept. 1967	Révision
<i>Titre II</i> : pour béton précontraint	Décret 73-439 26 mars 1973	
<i>Fascicule 61</i> : Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art		
<i>Titre VI</i> : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé	Décret 70-505 5 juin 1970	Révision en cours
<i>Titre VII</i> : Conception et calcul des ouvrages en Béton précontraint	Non rédigé	En attendant sa parution, se reporter à circulaire 73-110 du 13-6-1973
<i>Fascicule 63</i> : Confection et mise en œuvre des bétons non armés. Confection des mortiers	Décret 70-28 7 janvier 1970	
<i>Fascicule 65</i> : Exécution des ouvrages et constructions en Béton Armé	Décret 69-346 21 mars 1969	Révision en cours

3.3. Circulaires ministérielles

<i>Dénomination</i>	<i>Références</i>	<i>Observations</i>
Circulaires relatives au titre II du fascicule 61	n° 71-155 29 déc. 1971 et n° 71-156 30 déc. 1971	
IP ₁ – Instruction provisoire relative à l'emploi du Béton Précontraint dans les ouvrages dépendant du Ministère des T.P. et des Transports	n° 44 12 août 1965	Dénomination courante « IP ₁ »
IP ₂ – Circulaire relative à l'emploi du Béton Précontraint dans les ouvrages relevant du MATELT	n° 73-153 13 août 1973	Dénomination courante « IP ₂ »
Circulaire relative à l'emploi des ciments aluminés fondus	n° 70-31 6 mars 1970	
Circulaires relatives aux dérogations apportées à la composition des ciments Portland à constituants secondaires définis par la norme française NF P 15 302	n° 74-24 15 fév. 1974 et n° 75-37 17 fév. 1975	

3.4. Circulaires d'agrément (assorties de règles d'emploi) mises à jour périodiquement par le MEL

Dénomination

Circulaire accordant l'agrément à des adjuvants du béton.

Circulaire relative aux fournitures de liants hydrauliques destinés aux travaux à la mer et aux eaux séléniteuses.

Circulaire relative à l'agrément des bétons fabriqués en usine.

Circulaire accordant l'agrément à divers procédés de précontrainte.

Tous ces documents officiels sont disponibles à l'imprimerie des Journaux Officiels, 26, rue Desaix - 75 015 Paris.

A cette documentation de base s'ajoutent les documents émanants du SETRA et du LCPC (Directives, Recommandations, Guides...) qui peuvent être obtenus auprès de ces deux organismes.

4. RÈGLES PUBLIÉES PAR L'UNION NATIONALE DE LA MAÇONNERIE

Blocs de béton manufacturés

Tome I : Comment choisir des blocs de béton manufacturés (décembre 1976).

Tome II : Comment concevoir des ouvrages en blocs de béton manufacturés
(novembre 1971).

Tome III : Mise en œuvre (mars 1972).

Les enduits de façades (mars 73)

Les dallages en béton sur terre plein (janvier 75)

Exemples des façades en maçonnerie traditionnelle pour l'application
de la réglementation thermique (janvier 76)

Règles professionnelles de préparation des supports courants en béton
en vue de la pose des revêtements de sols minces (janvier 76)

L'isolation acoustique et le gros œuvre

Mémento du chef de chantier de gros œuvre

Nous recommandons ce dernier ouvrage qui s'inscrit parfaitement
dans le cadre de notre livre.

Les publications de l'U.N.M. sont à commander à : SEDIMA, 9, rue
La Pérouse - 75 784 PARIS Cedex 16.

ANNEXE B

**LES PRINCIPALES NORMES
D'ESSAIS FRANÇAISES
correspondance entre normes
françaises et étrangères**

1. CIMENT

<i>Titres</i>	<i>N^{os}</i>	<i>Dates</i>
Prescriptions générales	NF P 15 401	7/1963
Pâte normale	NF P 15 402	7/1963
Sable normal et mortier normal	NF P 15 403	7/1963
Malaxeur	NF P 15 411	8/1960
Appareils à chocs	NF P 15 412	8/1960
Moules pour éprouvettes prismatiques et accessoires	NF P 15 413	8/1960
Appareil de VICAT et moule tronconique	NF P 15 414	8/1960
Essai de prise	NF P 15 431	5/1964
Essais d'expansion à froid et à chaud	NF P 15 432	7/1963
Essais de retrait et de gonflement	NF P 15 433	7/1963
Essai de fissurabilité	NF P 15 434	8/1960
Mesure de la surface spécifique par le perméabilimètre de Blaine	NF P 15 442	3/1967
Flourométrie	NF P 15 443	3/1960
Essais mécaniques, flexion et compression	NF P 15 451	7/1963
Essais chimiques	NF P 15 461	5/1964
Essai de pouzzolanité	NF P 15 462	10/1964

2. GRANULATS

<i>Types de granulat</i>	<i>N^{os}</i>	<i>Dates</i>	<i>Titres</i>
Les granulats normaux	NF P 18 301	9/1960	Granulats lourds pour bétons de construction
	NF P 08 501	4/1966	Équivalent de sable
Les granulats légers — laitier expansé — pouzzolane — argile expansée	NF P 18 307	9/1965	Laitier expansé
	NF P 18 308	9/1965	Pouzzolane
	NF P 18 309	2/1973	Granulats d'argile expansée fabriqués en four rotatif

2.1. Projets de normes françaises concernant les granulats à béton

<i>N^{os}</i>	<i>Titres</i>
P 18 560	Analyse granulométrique par tamisage
P 18 566	Analyse granulométrique des fines
P 18 561	Mesure du coefficient d'aplatissement
P 18 562	Épaisseur moyenne des gravillons
P 18 565	Coefficient d'allongement
P 18 591	Propreté superficielle des gravillons
P 18 582	Teneur en SO ₃
P 18 583	Teneur en sels solubles
P 18 592	Essai au bleu
P 18 584	Réaction Alkali-Silice
P 18 585	Réaction Alkali-Carbonate
P 18 593	Sensibilité au gel
P 18 594	Sensibilité au gonflement
P 18 595	Sensibilité au délitage
P 18 596	Sensibilité au lessivage des Feldspaths
P 18 572	Essai micro-Deval
P 18 573	Essai Los-Angeles
P 18 574	Essai de fragmentation dynamique
P 18 576	Friabilité des sables
P 18 577	Essai Deval sec
P 18 554	Masse volumique et porosité
P 18 567	Densité des fines dans le volume
P 18 568	Porosité des fines sèches compactées
P 18 581	Teneur en eau

3. BÉTON

	Titres	N ^{os}	Dates
<i>Généralités</i>	Définitions relatives aux essais des bétons	NF P 18 102	2/1969
<i>Type d'essai</i>	Essais de recherche	NF P 18 403	2/1969
	Essais d'étude, de convenance et de contrôle	NF P 18 404	2/1969
	Essais d'information	NF P 18 405	6/1970
<i>Réalisation des corps d'épreuve (cylindres prismes)</i>	moules et éprouvettes	Moules et éprouvettes cylindriques	NF P 18 400 2/1969
		Moules prismatiques	NF P 18 401 2/1969
	mise en place du béton	Mise en place par aiguille vibrante	NF P 18 422 6/1970
		Mise en place par piquage	NF P 18 423 6/1970
	préparation des éprouvettes avant essai	Contrôle des moules et des éprouvettes	NF P 18 415 6/1971
		Surfaçage des éprouvettes cylindriques	NF P 18 416 6/1971
<i>Machines d'essais</i>	Caractéristiques communes des machines hydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs	NF P 18 411	8/1971
	Caractéristiques particulières des machines hydrauliques pour essais de compression (presses pour matériaux durs)	NF P 18 412	8/1971
	Caractéristiques particulières des machines hydrauliques pour essais de traction par flexion des matériaux durs	NF P 18 413	9/1970
	Caractéristiques particulières des machines d'essais de traction directe	NF P 18 414	En projet
<i>Réalisation des essais</i>	Essais de compression	NF P 18 406	2/1969
	Essais de traction par flexion	NF P 18 407	6/1970
	Essais de traction par fendage	NF P 18 408	2/1969
	Essais de traction directe	NF P 18 409	2/1969

L'ensemble de ces normes concernant les essais de béton est en révision. Dans les commentaires sur les essais, nous avons tenu compte des dernières propositions.

4. CORRESPONDANCE ENTRE NORMES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

4.1. Essais sur ciments

<i>Essai</i>	N.F. France	B.S. Royaume-Uni	ASTM États-Unis	DIN Allemagne
Prise	P 15 431	12-58	C 191-74 C 266-74 C 807-75	1164/5
Expansion à froid et à l'eau bouillante	P 15 432	12-58		1164-6
Expansion à l'autoclave			C 151-74a C 786-74	
Finesse par tamis			C 184-74 C 430-75	1164/4
Surface spécifique	P 15 442	12-58	C 204-75 C 115-74	1164/4
Fausse prise			C 359-75 C 451-75	
Ressuage			C 243-75	
Masse volumique		12-58	C 188-72	
Fissurabilité	P 15 434			
Résistance à la compression et à la traction	P 15 451	12-58	C 109-75 C 348-72 C 349-72	1164/7
Retrait et gonflement	P 15 433		C 157-75 C 596-75	
Chaleur d'hydratation			C 186-75	1164/8
Air occlus sur mortier			C 185-75	
Expansion des mortiers exposés aux sulfates			C 452-75	

4.2. Essais sur granulats pour mortiers et bétons

<i>Essai</i>	N.F. France	B.S. Royaume-Unis	ASTM États-Unis	DIN Allemagne
Granulométrie	P 18 304	812/1 75	C 136-71	4226/3
Coefficient de forme	P 18 301	812/1 75		4226/3
Volume des vides intergranulaires		812/2 75	C 30-70 C 127-73	
Porosité ; absorption eau	P 18 301	812/2 75	sable C 128-73	
Humidité		812/2 75	C 566-72	
Matières organiques	P 18 301		C 87-75 C 40-73	4226/3
Mottes d'argile et de terre			C 142-71	
Matières très fines	P 18 301		C 117-74	4226/3
Équivalent de sable	P 08-501			
Foisonnement du sable		812/2 75		
Densité apparente		812/2 75	C 29-71	
Masse volumique		812/2 75	C 127-73 C 128-73	
Sulfates				4226/3
Chlorures				4226/3
Particules légères et peu résistantes			C 123-75	4226/3
Résistance mécanique statique		812/3 75		4226/3
Résistance mécanique dynamique		812/3 75		
Résistance à l'abrasion		812/3 75	C 535-75 C 131-75	
Dureté			C 235-68 C 586-75	
Réaction alcalis-granulats			C 289-71 C 342-71 C 227-71	4226/3
Durabilité : essai d'expansion au sulfate de magnésium ou sodium			C 88-73	
Résistance au gel			C 682-75	
Examen pétrographique		812/1	C 295-75	

4.3. Essais sur béton frais

<i>Essai</i>	N.F. France	B.S. Royaume Unis	ASTM États- Unis	DIN Alle- magne	ISO	RILEM Recom- mandations CP 14
<i>Consistance</i>						
Cône d'Abrams	P 18 451	1881/270	C 143-74		DIS 4109	2,1 D nov. 75
Compactage Walz				1048/1	DIS 4111	
Table à secousses DIN				1048/1		
Compactage Glanville		1881/270				
Consistomètre V.B.		1881/270			DIS 4110	2,2 D nov. 75
Pénétration de la boule			C 350-75			
Masse volumique		1881/270	C 138-75	1048/1	DIS 4103 (au vote)	10,1 D nov. 75
Densité apparente		1881-270	C 138-75 C 138-75	1048/1		
Air occlus		1881/270	C 173/75 C 231-75	1048/1	DIS 4848	
Analyse du béton frais		1881/270		1048/1		
Ressuage du béton			C 232-71			
Retrait et gonflement			C 827-75 T			

DIS : Draft International Standard
D Recommandation définitive

4.4. Essais sur béton en œuvre

<i>Essai</i>	N.F. France	B.S. Royaume Uni	ASTM États-Unis	DIN Allemagne
Confection de carottes	P 18 405	1881/4 70	C 42-74	1048/2 76
Résistance au scléromètre			C 805-75 T	1048/2 76
Résistance à la pénétration (genre spit)			C 803-75 T	
Ultrasons			C 597-71	
Examen et prise d'échantillon de béton en œuvre			C 823-75	

4.5. Essais sur éprouvettes en béton durci

<i>Essai</i>	N.F. France	B.S. Royaume Unis	ASTM États- Unis	DIN Alle- magne	ISO	RILEM Recom- mandations CP 14
Résistance à la compression	P 18 406	1881/4 70	C 39-72	1048/1	DIS 4012	4 D nov. 75
Résistance à la traction par flexion	P 18 407	1881/4 70	C 78-75 C 293-74	1048/1	DIS 4013	5 D nov. 75
Résistance à la traction par fendage	P 18 408	1881/4 70	C 496-71	1048/1	DIS 4108	6 D nov. 75
Résistance à la compression sur bouts de prisme		1881/4 70	C 116-74			
Module d'élasticité statique		1881/5 70	C 469-75	1048/3	Projet en dis- cussion	8 D nov. 75
Module d'élasticité dynamique		1881/5 70	C 215-76			
Perméabilité				1048/1		13,2 (à l'étude)
Adhérence aux armatures			C 234-71			
Fluage du béton en compression			C 512-76			12,1 juil. 76 (prov.)
Analyse du béton durci			C 85-73	52170		
Masse volumique						10,2 D nov. 75
Absorption d'eau		1881/5 70	C 642-75	1048/1	DP 6275	11,1 D juin 77
Volumes de vides						
Résistance du béton au gel-dégel			C 666-76			CDC 1/1977
Retrait et gonflement du béton		1881/570	C 157-75			9 D nov. 75
Essais de résistance accélérée		1881/4	C 684-74			

DIS : Draft International Standard
 DP : Draft Proposal
 D : Recommandation définitive

ANNEXE C

ORGANISMES ET CENTRES D'ESSAIS plus spécialement concernés par le béton

1. ORGANISMES INTERNATIONAUX

- A.I.P.C.** Association Internationale des Ponts et Charpentes.
Secrétariat : École Polytechnique Fédérale, Haldeneggsteig 4 CH
8006 Zurich – Suisse.
- B.I.B.M.** Bureau International du Béton Manufacturé.
- C.E.B.** Comité Européen du Béton 6, rue Lauriston – 75 016 Paris
Par l'intermédiaire des Bulletins C.E.B., édite des recommandations sur tout ce qui concerne le calcul et l'exécution des ouvrages en Béton Armé et en Béton Précontraint.
- CEMBUREAU** Association européenne du Ciment 2, rue Saint-Charles
75015 Paris
Édite en particulier « Cement Standards of the world » donnant les normes nationales de 44 pays et « World Cement directory » qui est un répertoire des cimenteries dans le monde.
- C.I.B.** Conseil International du Bâtiment pour la recherche, l'étude et la documentation.
Secrétariat général : Weena 704 – Boîte Postale 299 Rotterdam
Pays-Bas
Le C.S.T.B. en est un des trois membres fondateurs.
- F.I.P.** Fédération Internationale de la Précontrainte Terminal House,
Grosvenor Gardens, Londres SW 1
- C.E.N.** Comité Européen de Normalisation
Secrétariat : Bruxelles
Chargé spécialement de l'harmonisation de la normalisation du ciment et de ses essais sur le plan européen

- I.S.O.** International Standard Organisation (Organisation Internationale de Normalisation)
Secrétariat général : Case Postale 56 1211, Genève 20 – Suisse
Chaque pays possède ses propres normes mais participe cependant, dans un but de standardisation à l'échelon mondial, à l'élaboration des normes ISO.
Trois sous-comités sont concernés plus particulièrement par les questions touchant au béton :
Sous-comité 1 (ISO/TC71/SC1) : pour les essais proprement dits
Sous-comité 2 (ISO/TC71/SC2) : pour les calculs des ouvrages en béton
Sous-comité 3 (ISO/TC71/SC3) : pour la préparation et le contrôle du béton.
- R.I.L.E.M.** Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais de Matériaux.
Siège : 12, rue Brancion 75015 Paris. La R.I.L.E.M. élabore des recommandations d'essais.

2. ORGANISMES NATIONAUX

- A.F.N.O.R.** Association Française de Normalisation : Tour Europe, cedex 7 – 92080 Paris-La Défense – Tél. : 718.11.11.
On pourra s'y procurer les différentes normes auxquelles nous avons largement fait référence
- A.F.B.** Association Française du Béton : 9, rue La Pérouse – 75016 Paris – Tél. : 720.10.20
- A.F.R.E.M.** Association Française de Recherches et d'Essais sur les Matériaux et les constructions. Branche française de la R.I.L.E.M.
12, rue Brancion – 75015 Paris – Tél. : 539.22.33
- C.O.P.L.A.** Commission Permanente des Liants et des Adjuvants
Secrétariat : 9, rue La Pérouse – 75016 Paris – Tél. : 720.10.20
Chargée en particulier de la préparation des agréments officiels des adjuvants.
- F.I.B.** Fédération française de l'Industrie du Béton affiliée à l'U.N.I.C.E.M.
- U.N.I.C.E.M.** Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de construction, 3, rue Alfred-Roll – 75017 Paris – Tél. : 754.77.64
A la même adresse :
le Syndicat National des producteurs de béton prêt à l'emploi et
le Syndicat National des Adjuvants pour bétons et mortiers (SYN.AD).

3. CENTRES D'ESSAIS

3.1. Principaux établissements publics

- C.E.M.E.T.E.** Centre d'Essais des Matériaux et d'Étude des Techniques d'Exécution – 13100 Aix-en-Provence
L'E.D.F. dispose de ce centre dans le cadre de sa Direction de l'Équipement, 3, rue de Messine – 75008 Paris
Domaine d'activité du C.E.M.E.T.E. :
— Études d'intérêt général sur des matériaux et des techniques applicables aux ouvrages E.D.F.
— Assistance technique aux services d'études et aux services travaux.
— Formation du personnel de surveillance et du personnel de laboratoire.
- C.S.T.B.** Centre Scientifique et Technique du Bâtiment 84, avenue Jean-Jaurès – 77420 Champ-sur-Marne – Tél. : 005 90.58 (Siège : 4, avenue du Recteur-Poincaré – 75782 Paris cedex 16 – Tél. : 525.61.01)
Établissement public dépendant du Ministère de l'Équipement.
Domaine d'activité du C.S.T.B. :
Technologie du gros œuvre ; Feu ; Technologie des équipements ; Hygrothermique et aérologique ; Aspects économiques ; Pollution...
Laboratoires à Grenoble et Nantes également.
Assure l'étude des *Avis Techniques* et des *Documents Techniques Unifiés (D.T.U.)* nouveaux.
Publication des divers documents par les cahiers du C.S.T.B. à raison de dix livraisons par an sous formes de fascicules détachables.
- L.C.P.C.** Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 58, boulevard Lefebvre – 75732 Paris cedex 15 – Tél. : 532.31.70
Dépend directement du Ministère de l'Équipement.
En plus du L.C.P.C., les laboratoires des Ponts-et-Chaussées sont constitués de seize Laboratoires Régionaux (LRPC) dont douze sont intégrés à des Centres Techniques de l'Équipement (CETE).
Domaine d'activité du L.C.P.C. :
Il est très vaste. Il concerne la recherche scientifique et technique dans les domaines des matériaux, structures, ouvrages et matériels intéressant les Ponts-et-Chaussées...
Ses études et recherches s'étendent dans la pratique pour les réalisations concrètes d'ouvrages d'art par l'intermédiaire des laboratoires régionaux.
Le L.C.P.C. participe activement à la réglementation technique, aux conseils, à l'enseignement...
La publication la plus connue est le « Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts-et-Chaussées ».

- L.N.E.** Laboratoire National d'Essais 1, rue Gaston-Boissier – 75015 Paris
– Tél. : 532.29.89
Rattaché administrativement au Conservatoire National des Arts et Métiers (C.N.A.M.).
Domaine d'activité du L.N.E. :
Sans être un laboratoire spécialisé, il réalise cependant des essais intéressant notre profession : analyses chimiques et granulométriques, essais mécaniques courants, études sur la pollution et les bruits, essais thermiques...
Il offre par ailleurs, la possibilité d'étalonnages précis pour bon nombre de matériels des autres laboratoires.
- V.P.** Service de contrôle des matériaux de la Ville de Paris 2, place Denfert-Rochereau – 75014 Paris – Tél. : 331.21.20
Service de contrôle rattaché à la Direction générale de l'Aménagement urbain dépendant de la Préfecture de Paris.
Domaine d'activité du V.P. :
Chargé du contrôle de la marque de qualité N F. (NF-VP) sur les liants hydrauliques, son activité concerne essentiellement les essais sur ciments.
Plus de 70 usines soumettent leurs 230 produits environ, au contrôle de la Ville de Paris.
Le laboratoire réalise cependant des essais autres que ceux concernant le ciment : granulats, bétons...

3.2. Principaux établissements professionnels

- C.E.B.T.P.** Centre Expérimental d'étude et de recherche du Bâtiment et des Travaux Publics 12, rue Brancion 75737 Paris cedex 15 – Tél. : 539.22.33
et Domaine de Saint-Paul 78470 Saint-Rémy-lès-Chevreuse – Tél. : 052.92.00
Les laboratoires régionaux sont implantés à :
Amiens, Besançon, Béziers, Bordeaux, Caen, Clermont-Ferrand, Dijon, Grenoble, Lille, Limoges, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Nice, Niort, Orléans, Reims, Rennes, Rouen, Strasbourg, Toulouse, Tours.
Implantation des laboratoires liés au C.E.B.T.P. par convention :
Abidjan (Côte d'Ivoire) – Antananarivo (Madagascar) – Bangui (Empire Centrafricain) – Brazzaville (République Populaire du Congo) – Casablanca (Maroc) – Cotonou (République Populaire du Bénin) – Dakar-Hann (Sénégal) – Kinshasa (République du Zaïre) – Libreville (Gabon) – Nouakchott (République Islamique de Mauritanie) – Nouméa (Nouvelle-Calédonie) – Ouagadougou (Haute-Volta) – Papeete (Polynésie Française) – Port-au-Prince (République d'Haïti, grandes Antilles) – Phoenix (Mauritius) – 97300 Cayenne – 97200 Fort-de-France (Martinique) – 97122 Baie Mahault (Guadeloupe) – Yaoundé-Messa (Cameroun).

Domaine d'activité du C.E.B.T.P. :

Il s'étend à toutes les disciplines du Bâtiment et des Travaux Publics. Une particularité réside dans le fait que le C.E.B.T.P. peut réaliser des essais sur modèle et en vraie grandeur en particulier à Saint-Rémy avec des équipements de l'U.T.I. (Union Technique Interprofessionnelle du Bâtiment et des Travaux Publics).

Une autre activité importante concerne les interventions et essais dits « commerciaux » qui permettent aux entreprises de faire appel à des spécialistes pour des essais en laboratoire ou des interventions directes sur chantier en tout point du globe.

Le C.E.B.T.P. participe largement à l'élaboration de normes et règles diverses.

C.E.R.I.B. Centre d'Études et de Recherche de l'Industrie du Béton manufacturé – B.P. n° 42 – 28230 Épernon – Tél. : 483.46.51

Domaine d'activité du C.E.R.I.B. :

Dans le cadre de tous les produits en béton manufacturés a la possibilité d'exercer des activités :

- de recherche technique sur la fabrication et l'utilisation des produits en béton, répondant aux préoccupations des industriels ;
- d'assistance technique par l'information sous différentes formes et les stages ainsi que par sa participation à l'élaboration de règles et normes ;
- de contrôle de qualité.

C.E.R.I.L.H. Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques 23, rue de Cronstadt – 75015 Paris – Tél. : 532.58.40

Domaine d'activité du C.E.R.I.L.H. :

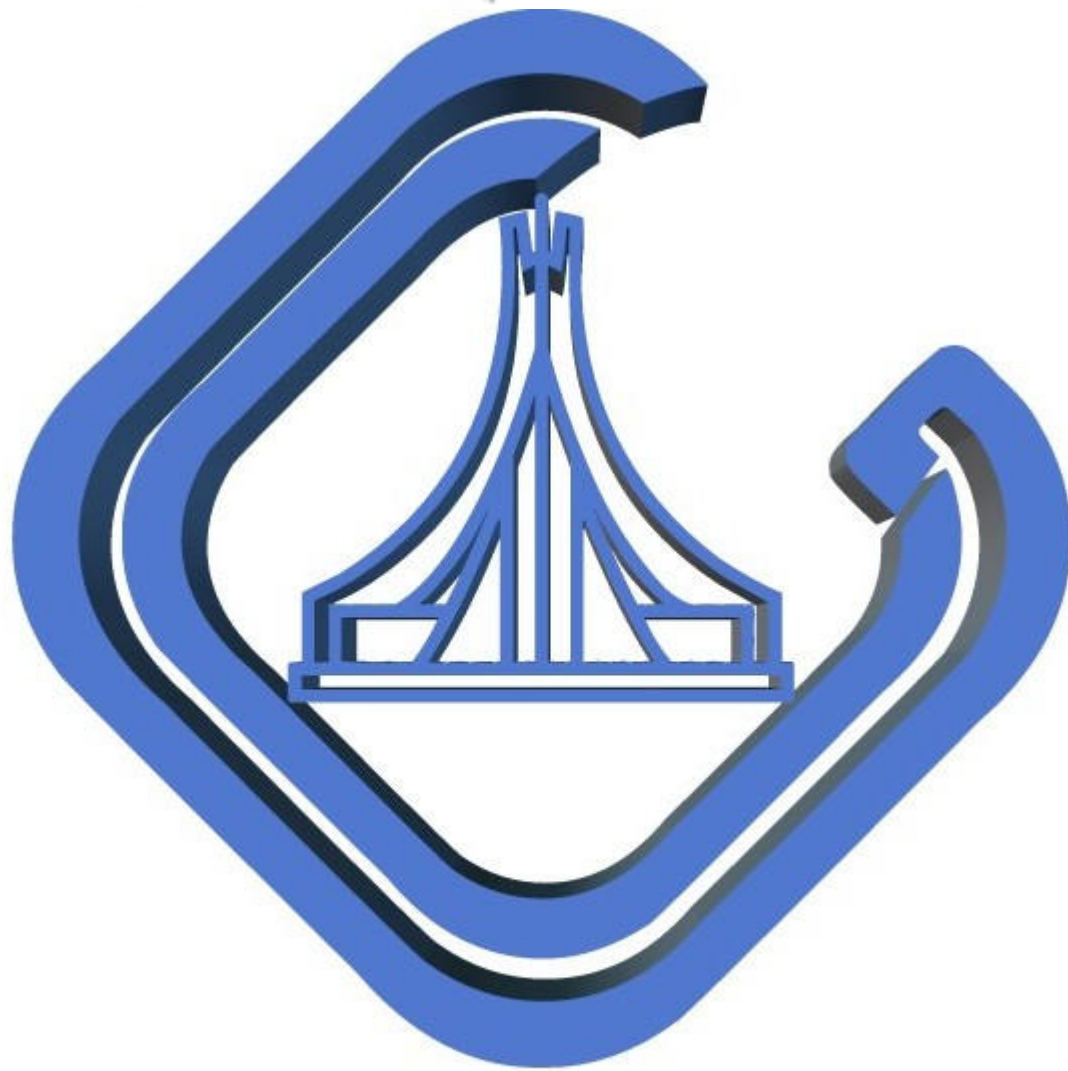
Spécialement chargé par la profession cimentière de réaliser des études et des recherches sur le ciment et son utilisation, le C.E.R.I.L.H. :

- centralise une importante documentation ;
- participe à l'élaboration des normes sur le ciment ;
- élabore des prototypes de matériel pour la fabrication et le contrôle en cimenterie ;
- participe à la recherche sur des liants traditionnels ou nouveaux ;
- contribue largement au contrôle des produits de cimenteries ;
- participe à la formation et au perfectionnement des ingénieurs et des techniciens de l'industrie des liants hydrauliques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. DREUX — *Nouveau Guide du Béton* (Éditions Eyrolles).
- [2] G. DREUX — *Le béton est-il un matériau laid et dépassé*. Revue Le Bâtiment-Bâtir, janvier 1976
- [3] Ph. JACQUES — *Contrôle de conformité aux spécifications des matériaux de construction*
- [4] G. DREUX et F. GORISSE — *Contribution à l'étude statistique des contrôles de béton. Mise au point d'un test accéléré*. Annales I.T.B.T.P. n° 302, février 1973
- [5] CENTRE DE FORMATION DE TECHNOLOGIE DU BÉTON : cours élémentaires de technologie du béton. Belgique, novembre 1971
- [6] M. ADAM — *Guide pratique pour l'emploi des ciments* (Édition Eyrolles).
- [7] M. PAPADAKIS et M. VENUAT — *Fabrication et utilisation des liants hydrauliques*
- [8] F. GORISSE — *De l'influence des graviers calcaires dans le béton*. Annales I.T.B.T.P. n° 221, mai 1966
- [9] G. DREUX — *Contribution à l'étude de l'influence de la propreté du sable sur les qualités du béton*. Annales I.T.B.T.P. n° 198, juin 1964
- [10] G. DREUX et F. GORISSE — *Contribution à l'étude de la finesse des sables sur diverses qualités des bétons*. Annales I.T.B.T.P. n° 261, septembre 1969.
- [11] R. BERTRANDY — *Influence des fillers calcaires sur la maniabilité des bétons*. Annales I.T.B.T.P. n° 328, mai 1975.
- [12] P. CORMON — *Bétons légers d'aujourd'hui* (Éditions Eyrolles)
- [13] P. CORMON — *La fabrication du béton* (Éditions Eyrolles)
- [14] G. DREUX et F. GORISSE — *Vibration, Ségrégation et Ségrégabilité des bétons*. Annales I.T.B.T.P. n° 265, janvier 1970
- [15] S. BRETONNIÈRE — *Connaissance et pratique du béton hydraulique*. Formation continue E.N.P.C., novembre 1977
- [16] D. G. COLE — *Cement and concrete Association*. TRA n° 389, mai 1965
- [17] C.S.T.C. — *Contrôle de la qualité du béton en laboratoire et sur chantier*, Belgique
- [18] L'HERMITE, MAMILLAN, SIMONNET — *Recherches nouvelles concernant la technologie du béton*. Annales I.T.B.T.P. n° 309-310, septembre 1973
- [19] R. BAUS — *Essai de traction directe sur le béton*. Mémoires Verhandeligen, Université de Liège

- [20] J. PAQUET et M. BRIARD — *Contrôle non destructif des pieux en béton*. Annales I.T.B.T.P. n° 337, mars 1976
- [21] Association Française du Béton : *Guide du béton projeté*. Recommandations pour la mise en œuvre, n° 98 bis, octobre 1977
- [22] F. GORISSE et M. GUIBE — *Contrôle continu des bétons sur un chantier*. Annales I.T.B.T.P. n° 331, septembre 1975
- [23] M. VENUAT — *La pratique des ciments et des bétons*. Le Moniteur



www.GCAAlgerie.com

Photocomposé en Times de 10 et achevé d'imprimer le 30 août 1978
par l'Imprimerie de la Manutention à Mayenne

Dépôt légal : 3^e trimestre 1978
N° d'éditeur : 3361