

Jean Bolomey

Evaluation de l'eau de gâchage et de la résistance à la compression (1925)

1. Eau de gâchage

Afin d'étudier l'influence de la composition granulométrique sur la quantité d'eau de gâchage, Il est indispensable de pouvoir préparer des mortiers et bétons ayant une consistance uniforme nettement définie et contrôlable. Pour ce faire, Jean BOLOMEY s'est appuyé sur les travaux de G. M. Williams qui a imaginé puis définit la notion de *fluidité* par des mesures systématiques sur une table à secousse.

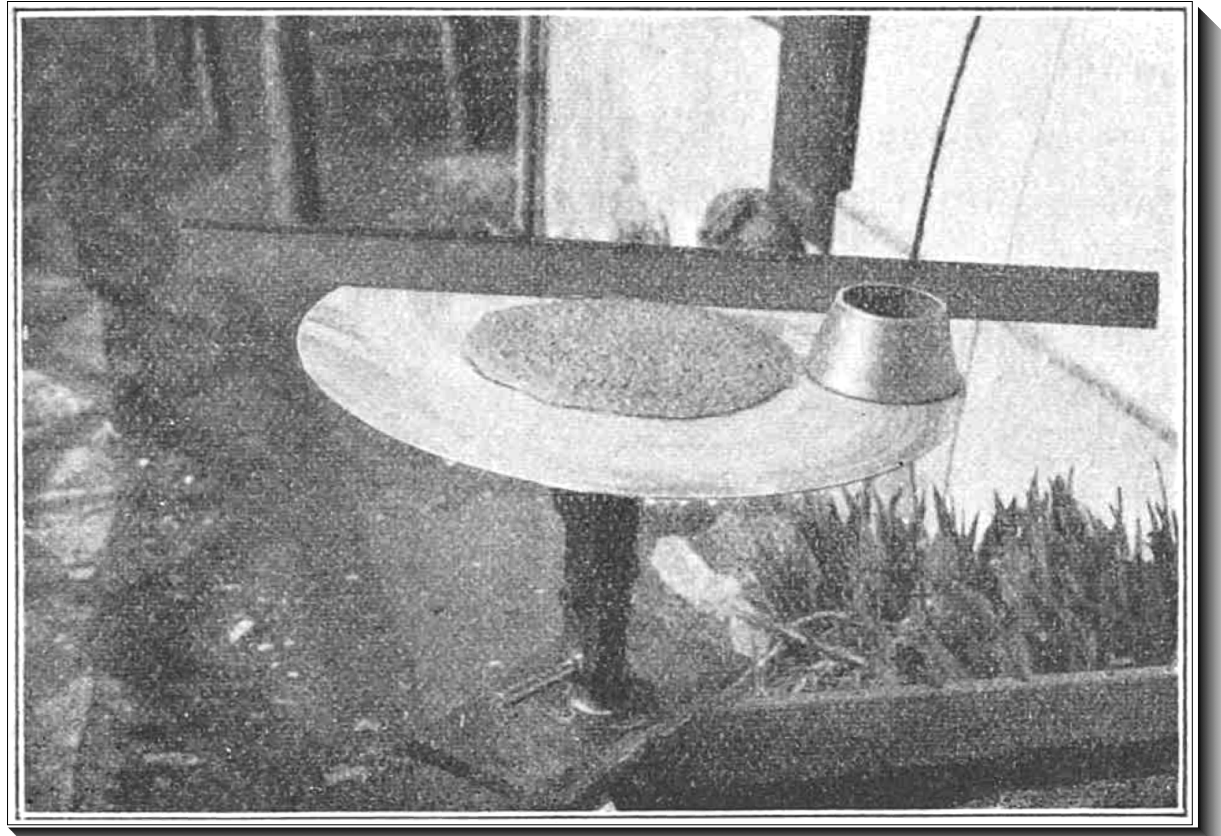
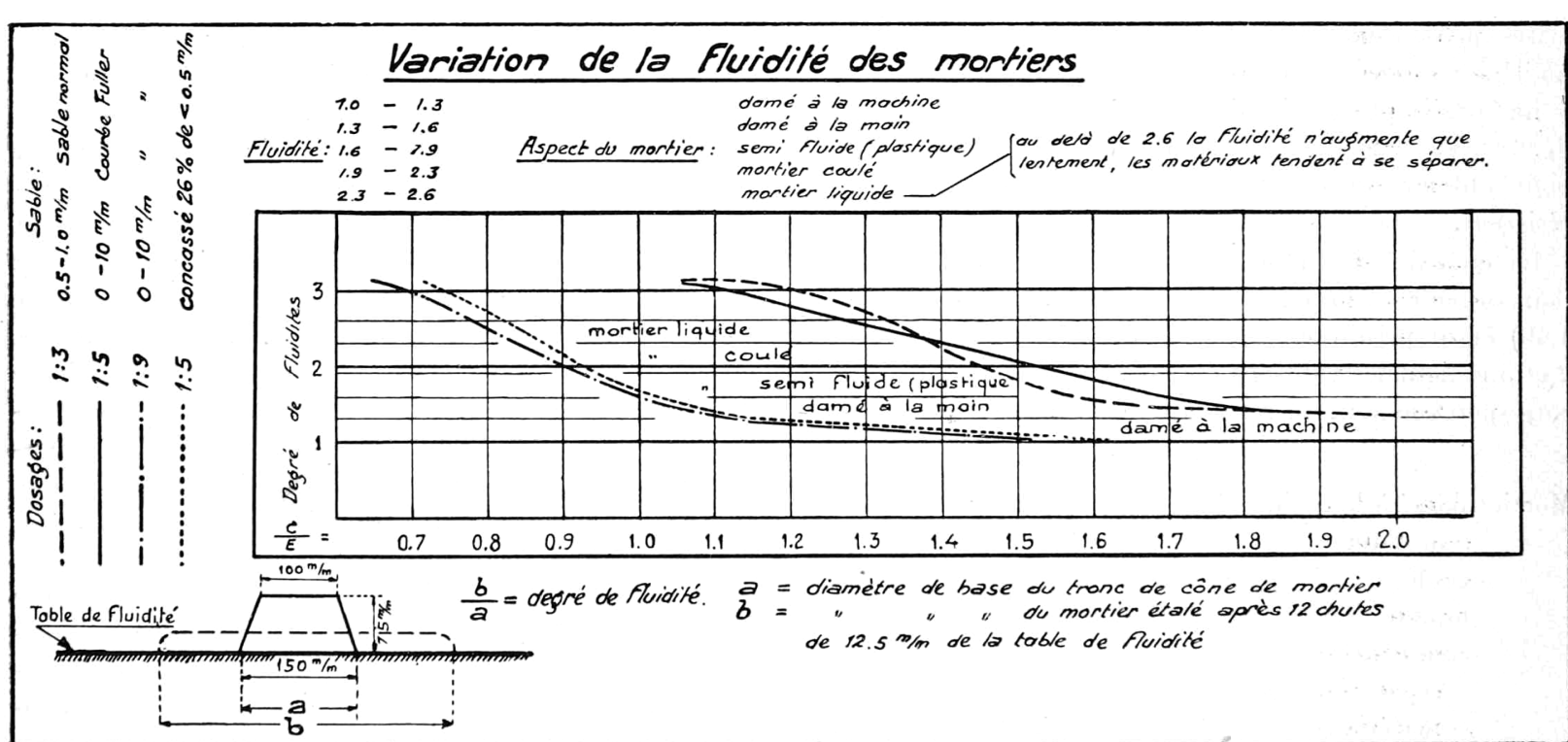
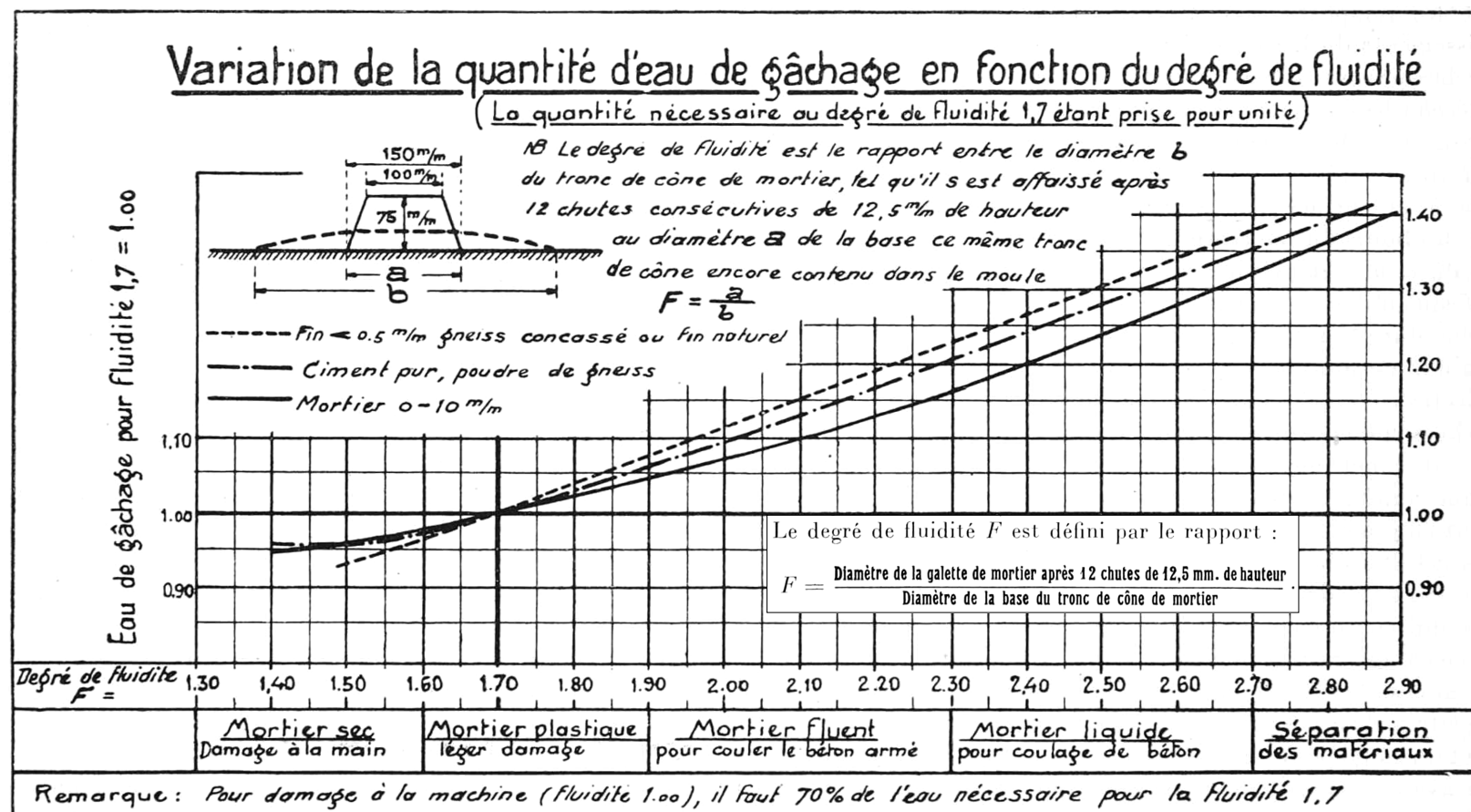


Table à secousse de Williams avec un mortier de fluidité plastique



Les variations de E en fonction de F sont sensiblement les mêmes quelle que soit la composition granulométrique (figures ci-dessus). Si donc E est connu pour un F donné, on obtiendra sans autre, au moyen de la figure 6, les quantités d'eau de gâchage correspondant aux autres degrés de fluidité.

Jean Bolomey, Détermination de la résistance à la compression des mortiers et bétons [BTSR.51 - 1925 cahiers 11,14 et 15]

DETERMINATION DE LA QUANTITE D'EAU DE GÂCHAGE

Pour obtenir une formule satisfaisante de calcul de l'eau de gâchage, il a fallu procéder expérimentalement en effectuant de très nombreux essais avec des ballasts de diverses natures et granulations, divers dosages et consistances.

Ces recherches systématiques nous ont permis de définir la quantité d'eau de gâchage E par la formule :

$$E_{mg} = N \cdot \sum \frac{P_{i+1} - P_i}{\sqrt[3]{d_{i+1} \cdot d_i}}$$

dans laquelle :

e = poids de l'eau nécessaire pour gâcher le poids P d'une des composantes du béton dont le diamètre des grains est compris entre d et d_m .

e et P sont donnés en kg ou en % du poids total du ballast - liant).

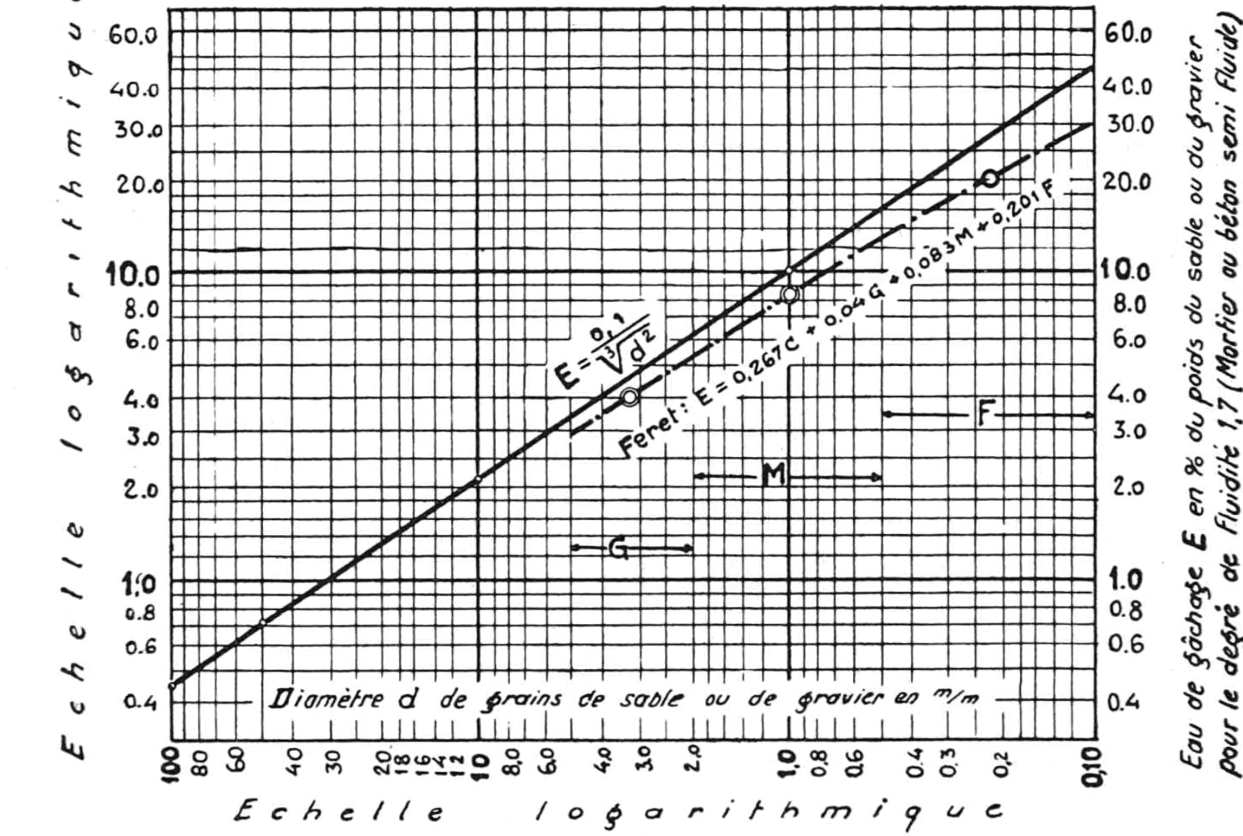
N = coefficient variable avec le poids spécifique de la roche d'où provient le ballast, la rugosité des surfaces et la forme des grains, la consistance (fluidité) du béton.

Eau de gâchage en fonction du diamètre des grains du ballast

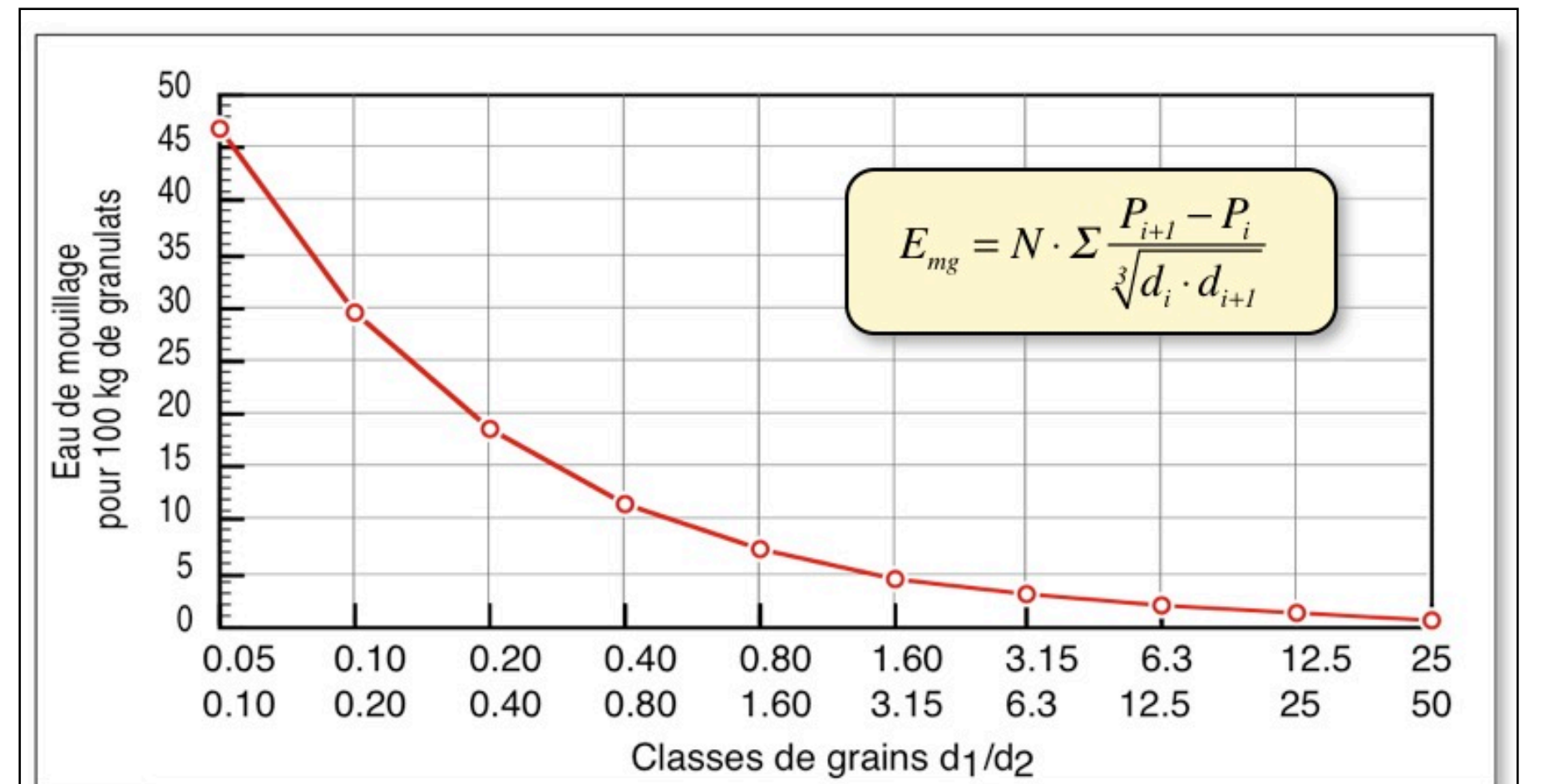
d'après la formule $E = \frac{0.1}{\sqrt[3]{d^2}} P$

Volatiles pour diamètres au-dessus de 0.2 mm d'un ballast de rivière

Pour des matériaux concassés les quantités E du graphique doivent être multipliées par 1.25 à 1.35 suivant le degré de rugosité des surfaces et de régularité de forme des grains



Eau de gâchage (fluidité 1.7) en % du poids des matériaux secs	en % du poids	Maximum d'eau retenu en % du poids
Ciment	23	55
Hydrate	60	150
Poudre de gneiss 0-0.5 mm	38	74
Fin naturel lavé 0.1-0.5 mm	25	46
Fin impalpable (répondit après tamisage)	4.8	8.0



- Eau de mouillage de classes de grains en fonction du diamètre (calculé selon Bolomey)

Besoin en eau: eau de mouillage, eau d'hydratation

- Eau d'hydratation $E_{hydr} = 0.28C$ (0.40C) C : masse du ciment [kg]
- Eau de gâchage = eau de mouillage (d'ouvrabilité)

$$E_m (tot) = E_{mc} + E_{mg}$$

$E_m (tot)$ = eau de mouillage du ciment (0.18C) + eau de mouillage des granulats (voir formule Bolomey)

$$E_m (tot) \gg E_{hydr}$$

Exemple: 300 x 0.28 = 84 litres
(300 x 0.40 = 120 litres)

- L'eau contenue dans les pores des granulats n'est pas prise en compte dans la notion de besoin en eau

$$E_{mg} = N \cdot \sum \frac{P_{i+1} - P_i}{\sqrt[3]{d_{i+1} \cdot d_i}}$$

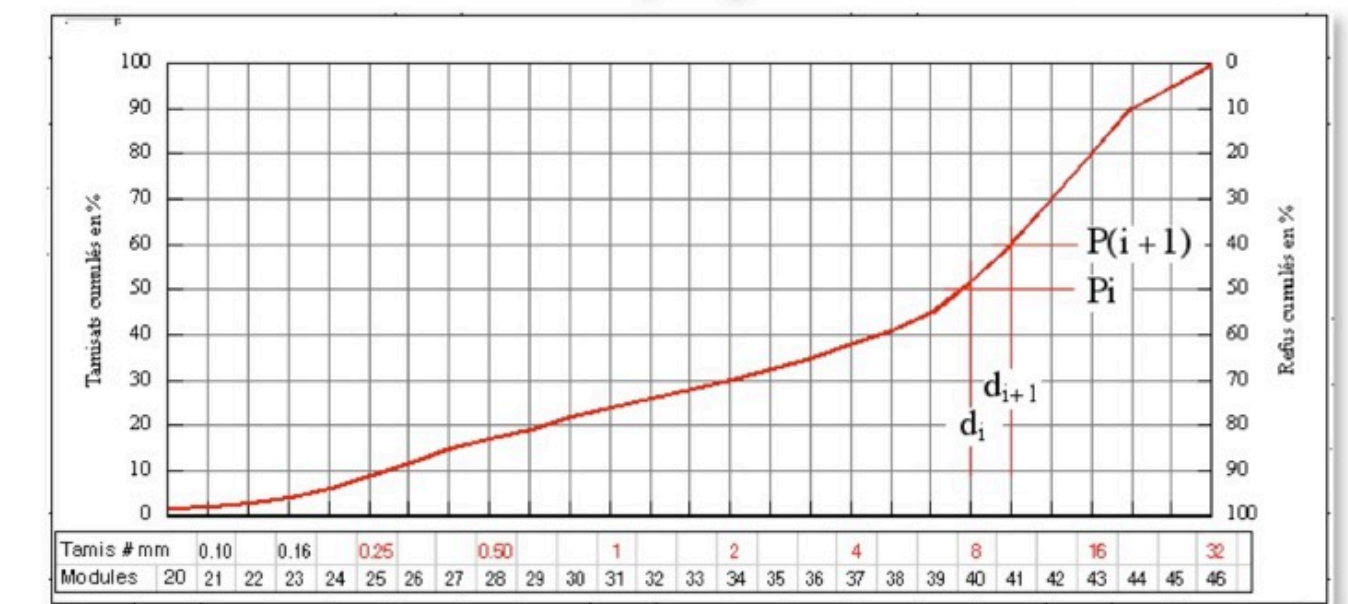
où E = eau de mouillage en litres

P = poids (masse) des granulats en kg

N = coefficient qui dépend de la forme des grains, de la rugosité de la surface, de la porosité du granulat et de la consistance du béton

- pour des granulats courants: $N = 0.06$ à 0.12

- d_1 et d_2 = valeurs extrêmes du diamètre des grains en mm



Exemple: avec $N = 0.08$, $C = 320$ kg/m³ et eau de mouillage granulats $E_{mg} = 0.18 \times C$

$$71.5 \times 1820 \times 0.080 + 0.18 \times 320 = 1041 + 57.6 = 162 \text{ litres}$$

2. Résistance à la compression

Feret a démontré le premier, en 1892 déjà, que la quantité d'eau de gâchage influe sur la qualité du mortier, autant que le dosage ou la nature du sable, la résistance à l'écrasement étant sensiblement proportionnelle au facteur

$$\frac{C}{e+V}$$

c désigne le volume absolu du ciment.
 e " " de l'eau de gâchage.
 v " " des vides du mortier

En 1920 Abrams a résumé les résultats de ses milliers d'essais en donnant pour la résistance du béton la formule:

$$R = \left(\frac{C}{E+V} - 0.5 \right) K$$

K est un facteur variable avec la qualité du ciment, la durée du durcissement, les dimensions des éprouvettes. Pour des cylindres de béton de 15 cm. de diamètre et de 30 cm. de hauteur K a une valeur de 985 à 28 jours.

x est le rapport volume $\frac{\text{Volume d'eau de gâchage}}{\text{Volume apparent du ciment}}$, la densité apparente du ciment étant admise égale à 1,5.

Les nombreux essais comparatifs effectués au laboratoire du Châtelard en vue de contrôler les formules ci-dessus et de déterminer pratiquement le facteur de proportionnalité pour un ciment bien défini, nous ont amené à préconiser l'emploi de la formule Feret légèrement modifiée, de préférence à celle d'Abrams.

Les résistances à la compression étant toutes rapportées en fonction du rapport $\frac{\text{Poids du ciment}}{\text{Volume (eau + vide)}}$ nous avons obtenu une courbe sinusoïdale passant par l'origine et qui, dans la zone des mortiers

et bétons utilisables sur les chantiers, peut être remplacée par une droite dont l'équation est:

$$(1) \quad R = \left(\frac{C}{E+V} - 0.5 \right) K$$

R = résistance à la compression en Kgs/cm².

C = poids du ciment en Kgs.

E = volume de l'eau de gâchage

V = volume des vides du mortier frais

K = coefficient variable avec la qualité du ciment, le mode, la durée et la température du durcissement.

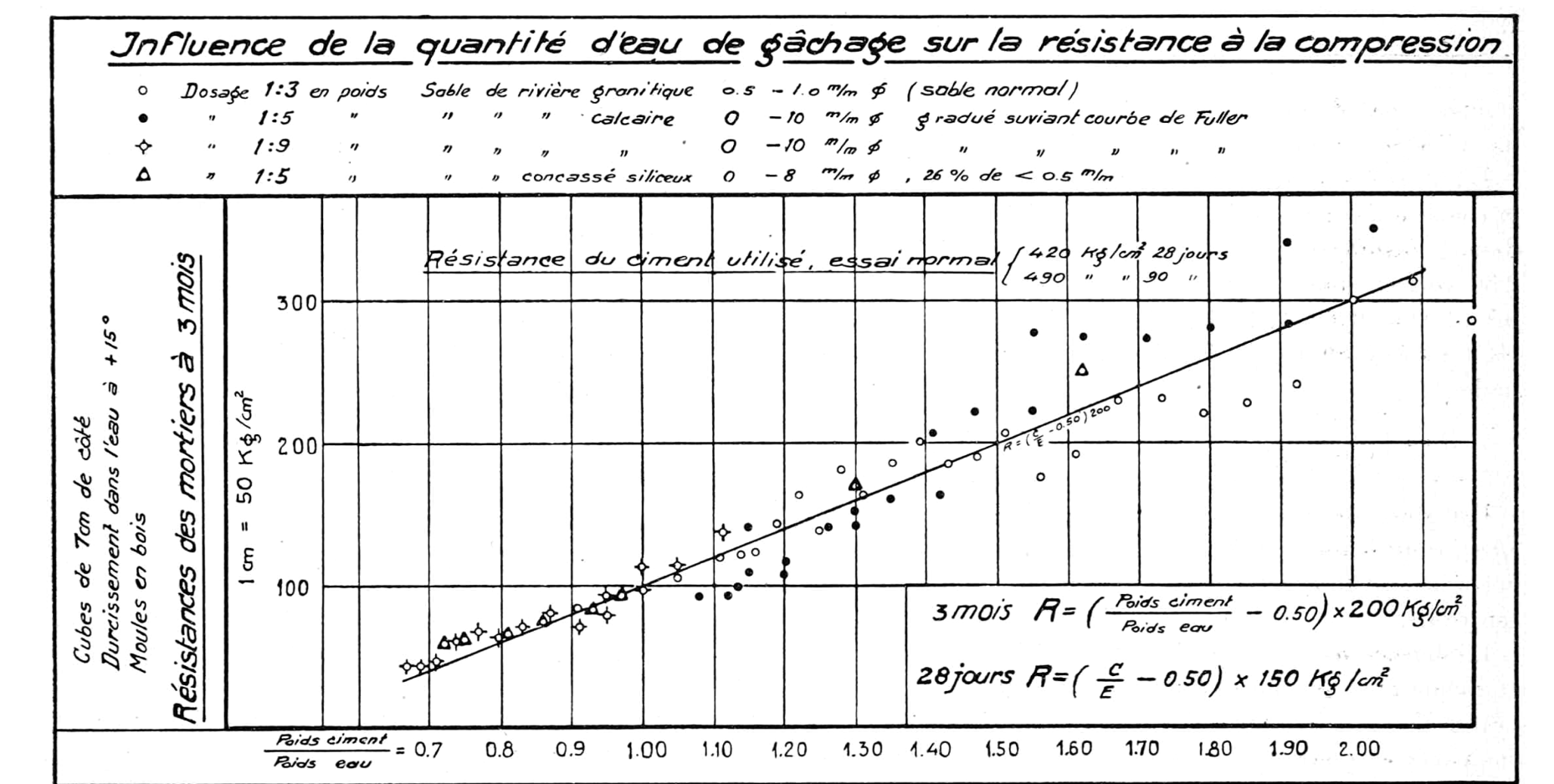
On cherchera en général à obtenir des mortiers ou bétons compacts ; dans ces conditions $V = 0$ pour le béton frais et la formule (1) devient

$$(2) \quad R = \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) K$$

Pour un ciment donnant une résistance de 420 Kgs/cm² à l'essai normal à 28 jours, durcissement dans l'eau ou le sable humide à + 15°, $\frac{C}{E+V}$ compris entre 0,7 et 2,0, les valeurs trouvées pour K ont été

$K = 105$ Kgs/cm ² à 7 jours		
$K = 150$ " 28 "		
$K = 200$ " 90 "		
$K = 270$ " 180 "		

Il est essentiel que le mortier conserve un degré d'humidité suffisant pour que le durcissement soit normal. Il arrive fréquemment, spécialement dans les bâtiments, que le mortier ou béton perde toute son humidité au bout de quelques semaines, auquel cas le durcissement sera presque complètement arrêté.



La formule de Bolomey pour l'évaluation de la résistance à la compression reste parfaitement d'actualité et peut être présentée sous une forme modifiée proposée par Georges DREUX dans son Guide pratique du Béton "nous choisissons la formule de Bolomey parce que c'est la plus simple et celle qui nous a semblé se vérifier le mieux par nos très nombreux essais".

- La résistance du béton est en relation sensiblement linéaire avec la résistance (classe vraie) du ciment, de ce fait la formule de Bolomey peut se mettre sous la forme:

$$f_c = \sigma_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

où σ_c : classe vraie du ciment en N/mm²
 G : coefficient granulaire dont la valeur moyenne est de l'ordre de 0.50

Dreux donne les valeurs suivantes de G selon la qualité des granulats:

Qualité des granulats	Dimensions D des granulats		
	Fins $D \leq 16$ mm	Moyens $25 \leq D \leq 40$ mm	Gros $D \geq 63$ mm
Excellente	0.55	0.6	0.65
Bonne, courante	0.45	0.5	0.55
Passable	0.35	0.4	0.45