

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 54 (1928)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Examen des résultats de l'épreuve du Réservoir de douze mille mètres cubes au Calvaire sur Lausanne: essai de charge par remplissage unilatéral  
**Autor:** Paris, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-41870>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

l'organisme du haut en bas de l'échelle, elle adopte des principes tels que ceux-ci :<sup>1</sup>

« Aucun chef ne doit faire lui-même ce qu'un subordonné est à même d'exécuter aussi bien que lui, afin de garder son temps pour ce qu'il est seul capable de faire. »

« Dans toutes les questions pour lesquelles une décision est à prendre, c'est le plus compétent qui doit trancher. »

« Chercher à résoudre les problèmes qui se posent par un contact direct avec l'intéressé et éviter les instances intermédiaires toutes les fois que leur activité n'entre, pour aucun motif, en considération. »

\* \* \*

Ces principes et leur application pourraient appeler de longs développements ; nous nous bornerons à constater qu'au point de vue de la répartition des charges tant à l'embauche, que lors des mutations, des avancements et même des renvois (question des caisses-maladie ou des caisses de retraite), il est hautement désirable de connaître les sujets bien mieux qu'on ne le peut faire par le moyen, soit complètement amorphe, soit volontairement tendancieux, du certificat ou de la référence.

Si la question se pose sans grande force pour un emploi modeste, elle devient en revanche prépondérante, quand il s'agit du choix d'un employé supérieur, d'un chef de section ou d'un représentant à l'étranger. C'est alors qu'il est précieux de trouver une méthode objective qui, au delà des manifestations extérieures ou des appréciations d'un tiers, permette de connaître les qualités profondes et, pour tout dire, les réserves de l'individu. Le diagnostic psychologique conduit certainement à ce résultat remarquable et il faut s'attendre,

par l'application d'une telle méthode, à une transformation et à une amélioration importante de nos entreprises.

Mais ceci à deux conditions :

La première, c'est que le psychotechnicien connaisse son métier, que sa formation et son expérience donnent pleine sécurité à celui qui utilisera les diagnoses, car la responsabilité encourue dans la destinée du sujet jugé est, à proprement parler, celle d'un spécialiste.

L'autre condition, c'est que les chefs responsables s'approchent de la question avec bienveillance et consentent à lui porter tout l'intérêt qu'elle mérite.

Petit-Saconnex (Genève), le 15 avril 1928.

## Examen des résultats de l'épreuve du Réservoir de douze mille mètres cubes au Calvaire sur Lausanne.

### Essai de charge par remplissage unilatéral,

par A. PARIS, ingénieur,  
professeur à l'Université de Lausanne.

(Suite).<sup>1</sup>

#### 4. Séries trigonométriques du professeur K. Hager<sup>2</sup>.

Ses publications dans la *Deutsche Bauzeitung* fournissant une base commode de calcul des plaques, le professeur Hager propose une méthode approximative pour la plaque rectangulaire d'épaisseur constante, librement appuyée sur son contour (fig. 31 à 34).

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 7 avril 1928, page 73.

<sup>2</sup> « Theorie des Eisenbetons ». — Edition Oldenburg, Munich.

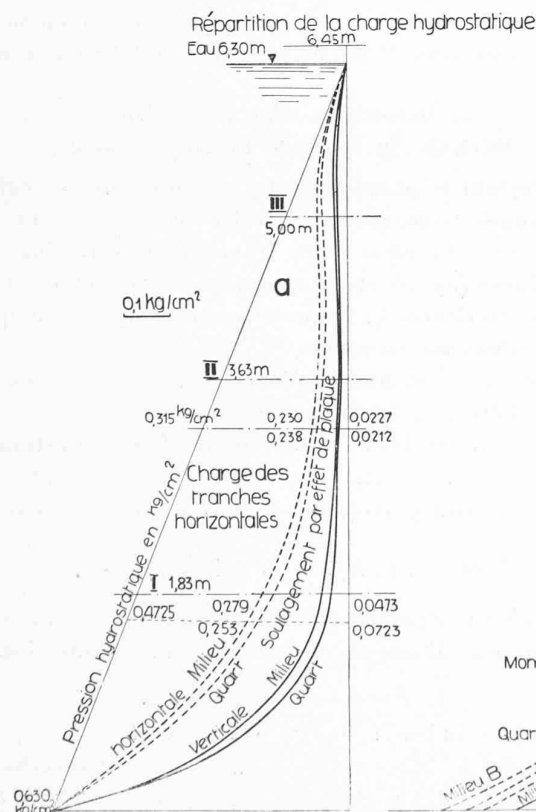


Fig. 31.

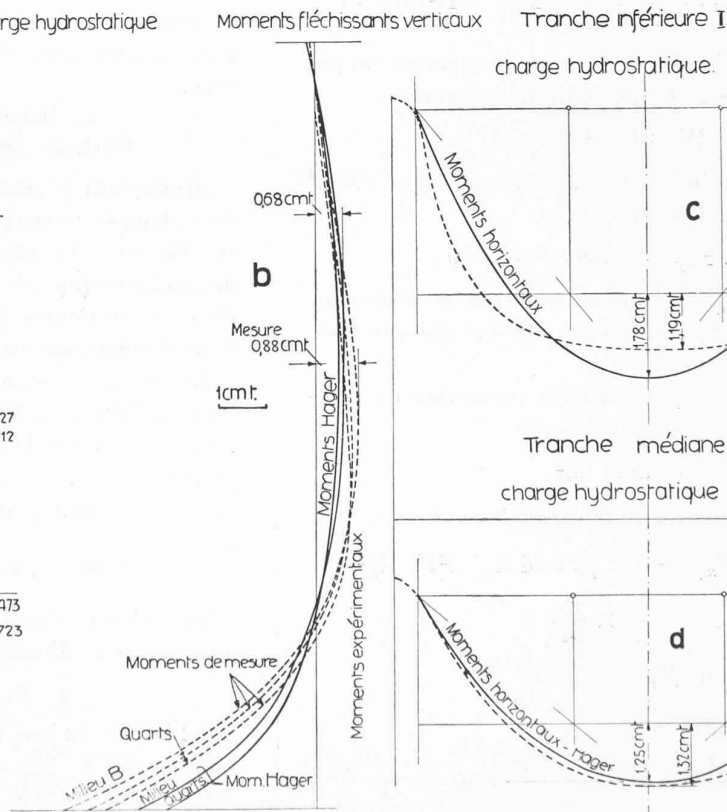


Fig. 32.

Séries trigonométriques de Hager.

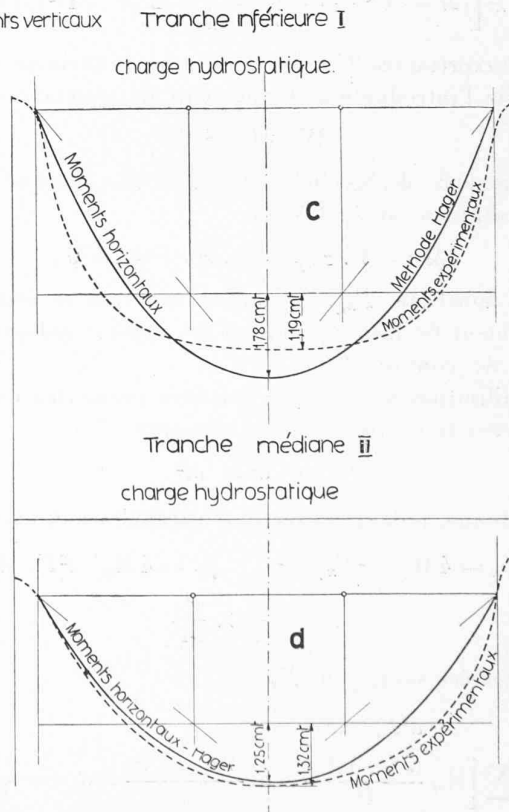


Fig. 33-34.

Nommant  $x$  et  $y$  les axes de coordonnées passant par le centre ( $x = 0$ ,  $y = 0$ ) de la plaque, il fixe les lignes d'appui par

$$x = \pm l/2 \quad y = \pm h/2.$$

Le rapport des côtés étant

$$\lambda = h/l \geq 1$$

les tensions principales aux faces prendront les valeurs

$$25) \quad \begin{cases} \sigma_x = + C \times F_x \\ \sigma_y = + C \times F_y \end{cases} \quad C = 96 p l^2 : \pi^4 \cdot e^2$$

Les deux fonctions  $F_{x,y}$  ont la forme

$$26) \quad \begin{cases} F_x = \sum \left[ A_{rs} \cdot \cos \frac{(2r-1)\pi x}{l} \cdot \cos \frac{(2s-1)\pi y}{h} \right] \times \\ \quad \times \left[ (2r-1)^2 \cdot \lambda^2 + \frac{(2s-1)^2}{m} \right] \\ F_y = \sum \left[ A_{rs} \cdot \cos \frac{(2r-1)\pi x}{l} \cdot \cos \frac{(2s-1)\pi y}{h} \right] \times \\ \quad \times \left[ (2s-1)^2 + \frac{(2r-1)\lambda^2}{m} \right] \end{cases}$$

$m$  est le coefficient de gonflement de Poisson; les indices  $r$  et  $s$  prennent toutes les valeurs entières utiles en montant dès l'unité. Nous avons calculé neuf facteurs, de  $A_{11}$  à  $A_{33}$ , avec forme générale

$$27) \quad A_{rs} = \frac{(-1)^{r+s}}{(2r-1)(2s-1)} \times \frac{1}{\lambda^2 \left[ (2r-1)^4 + \frac{(2s-1)^4}{\lambda^4} \right] + 2(2r-1)^2(2s-1)^2}$$

Les expressions 25), des tensions  $\sigma$ , peuvent se simplifier par l'introduction du moment de résistance

$$W = b \cdot e^2/6$$

Le moment fléchissant devient ainsi, puisque  $96/\pi^4$  est pratiquement égal à un

$$M = W \cdot \sigma_{x,y} = p \cdot l^2 \cdot F_{x,y} \cdot b/6.$$

Les fonctions  $F_{x,y}$  s'annulent sur tout le pourtour; le moment fléchissant, nul sur les appuis, indique l'absence de continuité.

L'utilisation des charges unitaires permettra de tourner cette restriction. Leur expression

$$p = d^2 M / dl^2$$

nous donne, le long de sections parallèles aux axes,

$$28) \quad p_x = 4M_0 \cdot d^2 F_x / dx^2 \quad p_y = 4M_0 \cdot d^2 F_y / dy^2$$

$$M_0 = \frac{p}{2} \times \frac{l^2}{24}.$$

Les dérivées sont, pour  $F_x$ ,

$$29) \quad d^2 F_x / dx^2 = - \sum \left[ A_{rs} \frac{(2r-1)^2 \pi^2}{l^2} \cdot \cos \frac{(2r-1)\pi x}{l} \cdot \cos \frac{(2s-1)\pi y}{h} \right] \times \left[ (2r-1)^2 \lambda^2 + \frac{(2s-1)^2}{m} \right]$$

et l'analogie pour  $F_y$ . Au premier facteur numérique près, ces expressions de la charge unitaire sont celles des moments fléchissants eux-mêmes; elles s'annulent donc aussi sur le contour, à l'inverse de la réalité qui donne à une fibre toute la charge dès l'instant où elle atteint le bord de l'appui. L'utilisation des formules 28 et 29 demande donc une correction. On peut, comme nous l'avons fait, remplacer le secteur de charge descendant à zéro, dès le quart, par un secteur atteignant au contour la charge  $p$  complète. C'est naturellement artificiel.

Partant des valeurs

$$m = 10 \quad \lambda = 645 : 387 = 1,668$$

nous trouvons les facteurs

$$\begin{aligned} A_{11} &= +0,1947 & A_{12} &= -0,00669 & A_{13} &= +0,000718 \\ A_{21} &= -0,00137 & A_{22} &= +0,000260 & A_{23} &= -0,0000741 \\ A_{31} &= +0,000112 & A_{32} &= -0,0000301 & A_{33} &= +0,0000125 \end{aligned}$$

et les charges locales

Tranches horizontales :

Mi-hauteur	Quart 0,756 $p$	Milieu 0,730 $p$
Quart vertical	» 0,590 $p$	» 0,536 $p$

Tranches verticales :

Médiane	Quart 0,153 $p$	Milieu 0,072 $p$
Quart latéral	» 0,100 $p$	» 0,067 $p$

Les diagrammes de répartition, tracés sur ces valeurs, laissent une zone de charge hydrostatique non attribuée.

Les fig. 31 à 34 montrent l'effet de cette répartition. Les moments horizontaux suffisent pour dimensionner l'ouvrage; mais il n'en est pas de même des moments positifs verticaux, 0,68 cm.t au lieu de 0,88 cm.t mesuré.

### 5. Répartition selon Castigliano

Méthode du Dr J. S. Bosch, ingénieur.

Appliquant le principe du travail minimum au calcul des plaques rectangulaires<sup>1</sup>, cette méthode ignore les résistances à la torsion des tranches entrecroisées; ses diagrammes (fig. 35 et 36) répartissent complètement les charges extérieures, et tiennent compte d'appuis complètement libres ou encastres.

La charge  $p$  est uniformément répartie sur la plaque rectangulaire  $l \times h$ , que le Dr Bosch remplace par un treillis élastique de deux fois quatre fibres résistantes, placées aux cinquièmes successifs parallèlement aux appuis; à chaque croisement, il concentre une charge locale

$$Q = p \times l \cdot h/25, \quad \lambda = h/l > 1.$$

Une charge répartie se distribue dès lors comme suit dans les deux directions orthogonales d'armatures  $l$  et  $h$ .

#### 1) Sur les courtes portées $l$ .

Distance du bord :	0	0,2 $l$	0,4 $l$	
Ligne à 0,2 $h$	1	$a$	$c$	(fois la charge unitaire)
» 0,4 $h$	1	$l$	$d$	

<sup>1</sup> J. S. Bosch. « Berechnung gekreuzt armierter Platten ». — Ernst: Forschungsarbeiten IX.

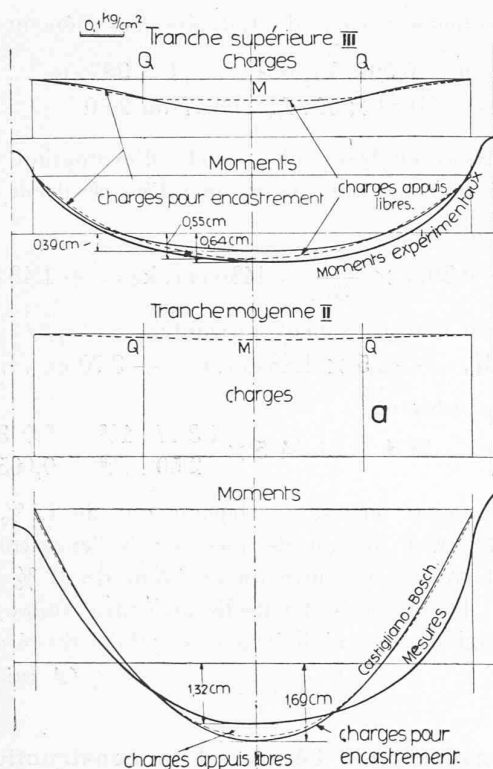


Fig. 35 et 36.

Répartition des charges par la méthode  
Castigliano-Bosch.

## 2) Sur les longues portées $h$ .

Distance du bord :	0	$0,2h$	$0,4h$	
Ligne à $0,2l$	1	$1-a$	$1-l$	(fois la charge
» $0,4l$	1	$1-c$	$1-d$	unitaire)

Les équations de travail attribuent aux courtes portées  $l$  les parts de charge

$$a \cdot Q \quad b \cdot Q \quad c \cdot Q \quad d \cdot Q$$

tandis que les longues portées prennent le solde

$$(1-a)Q \quad \text{à} \quad (1-d)Q.$$

Les diagrammes de charge étant un élément plus souple pour le projet, nous emploierons les facteurs  $a$  à  $d$  pour les établir, en répartissant la charge hydrostatique (fig. 35 à 38). On en calcule quatre ordonnées comme racines des équations, établies dans l'hypothèse de charge répartie et de contour uniforme. Ces racines sont :

Appuis libres, sans continuité :

$$\begin{cases} a = [51,498\lambda^3 + 302,633\lambda^6 + 453,948\lambda^9 + 205,990\lambda^{12} + 3,1768\lambda^{15}] : (1+\lambda^3) \cdot D \\ b = [82,764\lambda^3 + 361,988\lambda^6 + 282,401\lambda^9 + 3,1768\lambda^{12}] : D \\ c = [-28,090\lambda^3 + 140,283\lambda^6 + 171,547\lambda^9 + 3,1768\lambda^{12}] : D \\ d = [-45,144\lambda^3 + 205,990\lambda^6 + 550,588\lambda^9 + 302,633\lambda^{12} + 3,1768\lambda^{15}] : (1+\lambda^3) \cdot D \end{cases}$$

avec

$$D = 3,1768 + 254,311\lambda^3 + 502,269\lambda^6 + 254,311\lambda^9 + 3,1768\lambda^{12}$$

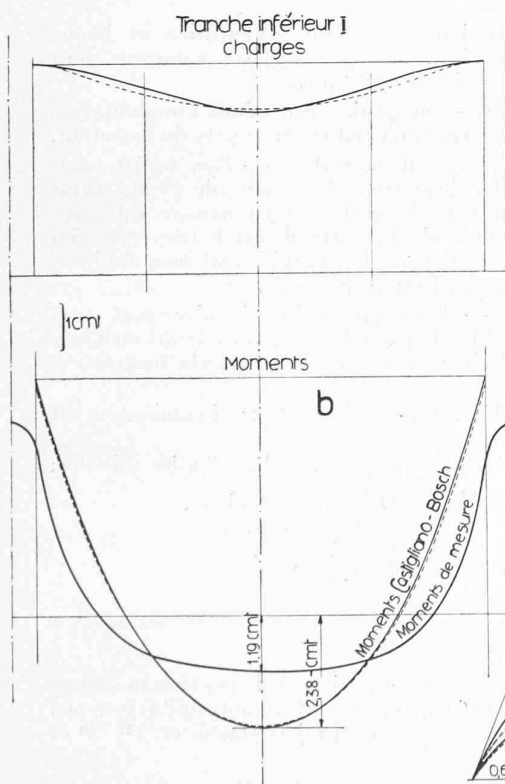


Fig. 37.

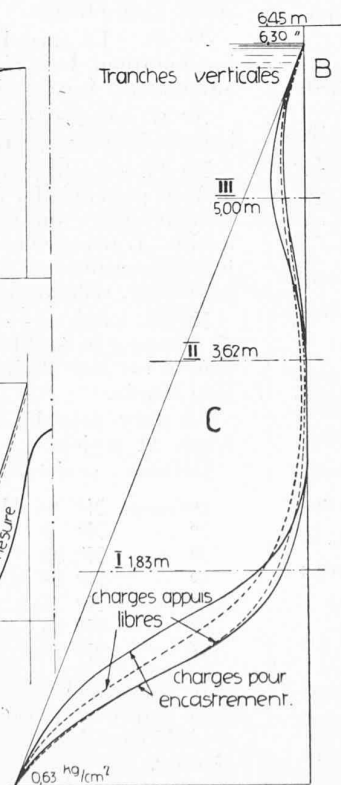


Fig. 38.

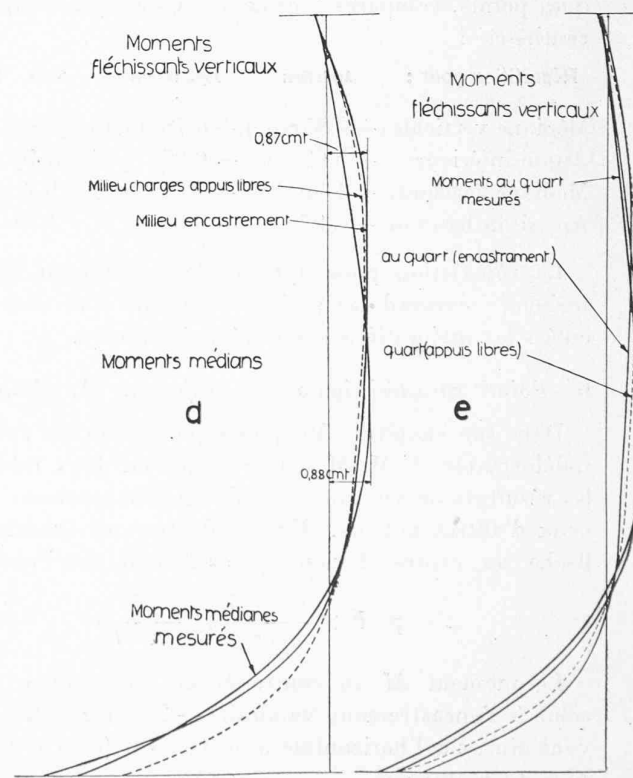


Fig. 39.

Fig. 40.

Méthode Castigliano-Bosch. Travail virtuel.

*Encastrement parfait sur le contour :*

$$31) \begin{cases} a = [0,0149 + 44,237\lambda^3 + 201,545\lambda^6 + 164,803\lambda^9 + 7,480\lambda^{12}] : \\ \quad : (1 + \lambda^3) \cdot D \\ b = [421,288\lambda^3 + 214,272\lambda^6 + 7,48\lambda^9] : D \\ c = [-0,008 - 41,832\lambda^3 + 80,28\lambda^6 + 6,60\lambda^9] : D \\ d = [-3,100 - 41,577\lambda^3 + 204,186\lambda^6 + 250,612\lambda^9 + 7,954\lambda^{12}] : \\ \quad : (1 + \lambda^3) \cdot D \\ \text{avec} \\ D = 7,792 + 201,56\lambda^3 + 201,248\lambda^6 + 7,48\lambda^9. \end{cases}$$

Dans le cas du Calvaire, le rapport  $\lambda$  des côtés  $h$  et  $l$   
 $\lambda = 1,668$

nous donne les coefficients

$$\begin{array}{lll} \text{Appuis libres} & a = 0,7043 & b = 0,9739 \quad c = 0,5537 \\ & d = 0,9411 & D = 38891,181 \\ \text{Encastrement} & a = 0,7327 & b = 1,0000 \quad c = 0,3939 \\ & d = 0,9851 & D = 5924 \, 949 \end{array}$$

Les diagrammes, tracés sur ces deux séries de coefficients, répartissent toute la poussée entre les fibres verticales et horizontales, ceci sans soulagement pour action de plaque, sinon que, curvilignes, ils reportent les charges vers les extrémités des fibres. Les lignes de moments relatives résultent ensuite des épures de continuité sur appuis rigides, d'où certaines divergences entre les lignes de moments des régions issues de mesure ou de calcul.

La réalisation en construction des économies de calcul est donc conditionnée par la rigidité des appuis.

La répartition des charges par la méthode de Bosch a donné des résultats satisfaisants. Les voici pour quelques points, comparés à ceux de mesure (mis entre parenthèses) :

Répartition pour :	Appuis libres	Appuis encastres	Mesure	Majoration %
Médiane verticale	+0,85 cm. t	+0,78 cm. t	(+0,88)	-3
Appui inférieur	-5,62	-6,05	(-5,40)	+4
Médiane horizont.	+1,59	+1,69	(+1,32)	+21
Appui mi-hauteur	-3,27	-3,35	(-2,70)	+21

La répartition pour appuis libres donnerait ici une meilleure concordance ; c'est pour elle que sont calculées les majorations sur la réalité mesurée.

#### 6. Points caractéristiques du professeur A. Mesnager.

Dans son chapitre « Plaques reposant sur un contour indéformable »<sup>1</sup>, M. Mesnager donne en deux tableaux les résultats de ses calculs et de ses comparaisons avec ceux d'autres auteurs. En cas de contour encasté, la flèche au centre devient ( $m$  = facteur de Poisson) :

$$z = p \cdot l^4 \times \frac{m^2 - 1}{m^2} \times \frac{1}{425 EI_m}$$

Le moment  $M$  au centre étant pris comme type, celui à l'encastrement vaudrait  $-2,5 M$  ; nous trouvons ainsi sur l'horizontale à mi-hauteur (courte dimension du rectangle)

$$M_l = + p \cdot l^2 / 31 \quad M_a = - p \cdot l^2 / 12,4.$$

A. Mesnager. « Cours de Béton armé. » Dunod Paris 1921.

Au panneau normal du Calvaire, ces éléments sont

$$p = 0,3077 \text{ kg/cm}^2 \quad l = 387 \text{ cm.} \\ 10^{-8} \times E \cdot I_m = 3,77 \text{ ou } 2,50$$

ces derniers chiffres, selon mode d'évaluation de la raideur moyenne. Les valeurs cherchées résultent par

Moment médian

$$M = + 0,3077 \times \frac{387^2}{31} = 1480 \text{ cm. kg} = + 1,48 \text{ cm. t.}$$

Moment d'encastrement horizontal

$$M_a = - 2,5 \times 1,48 \text{ cm. t} = - 3,70 \text{ cm. t.}$$

Flèche médiane

$$z = 0,3077 \cdot 387^4 \cdot 1,01 : 425 \times \begin{cases} 3,77 \cdot 10^8 = 0,0438 \text{ cm.} \\ 2,50 \cdot 10^8 = 0,0655 \text{ »} \end{cases}$$

Le moment médian ne dépasse que de 12 % celui de 1,32 cm. t obtenu de mesure ; à l'encastrement, nous trouvons par contre un excédent de 37 % sur le résultat des mesures. La flèche au centre suppose des appuis rigides, non réalisés par les piliers du réservoir.

(A suivre.)

### Concours pour l'étude et la construction d'un bâtiment scolaire, à Faoug.

(Suite et fin.)<sup>1</sup>

N° 33. « Grand préau ». — Ce projet a retenu longtemps l'attention du Jury ; la solution proposée est originale et bien étudiée ; cependant elle ne conviendrait pas à la localité. Le cube n'est pas très élevé, cependant l'exécution serait dispendieuse.

N° 18. « Le Chandon ». — Bonne orientation et bonne implantation. Les W.-C. près de la classe enfantine sont admissibles. Les façades sont bonnes.

N° 37. « Fagus ». — Bon projet, cependant l'implantation laisse à désirer ; le corps principal est trop près du carrefour.

N° 24. « Après vous, s'il en reste ». — Bon projet, clair et bien présenté. La disposition de la salle de gymnastique portant ombre sur une classe du rez-de-chaussée est critiquable. L'arrangement de la porte d'entrée trop près des fenêtres voisines, est mauvais. Les façades sont bien étudiées, cependant, celle au nord est trop trouée.

N° 28. « Bob ». — Bons plans. Les façades sont trop élevées pour la localité ; le parti de la variante serait meilleur mais il est mal étudié ; la toiture de la grande lucarne est trop lourde.

Le Jury procède à un troisième tour d'élimination et écarte 11 projets.

Restent 7 projets que le Jury classe dans l'ordre suivant :

1 <sup>er</sup> rang	N° 20	Motto : Orientation sud-est.
2 <sup>e</sup> »	N° 1	» Mur ou talus.
3 <sup>e</sup> »	N° 33	» Grand préau.
4 <sup>e</sup> »	N° 18	» Le Chandon.
5 <sup>e</sup> »	N° 37	» Fagus.
6 <sup>e</sup> »	N° 24	» Après vous, s'il en reste.
7 <sup>e</sup> »	N° 28	» Bob.

Le Jury décide de primer 4 projets et de répartir la somme dont il dispose (2500 fr.), en tenant compte qu'il y a peu de différence de valeur entre les projets classés en 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> rang.

1 <sup>er</sup> prix	Fr. 800.—	3 <sup>e</sup> prix	Fr. 600.—
2 <sup>e</sup> prix	» 700.—	4 <sup>e</sup> prix	» 400.—

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique du 5 mai 1928, page 104.