

# La rupture du barrage du Gleno

Autor(en): **Stucky, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **50 (1924)**

Heft 7

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-39055>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

*Passeports des bateliers.*

La Commission prend acte de la communication de M. Seeliger, Commissaire des Etats allemands, d'après laquelle le Gouvernement allemand a proposé par la voie diplomatique la suppression du visa des passeports des bateliers, et invite les Délégations de Belgique, de France, des Pays-Bas et de Suisse à faire connaître à la Commission, en vue de sa prochaine session, la suite donnée à la proposition du Gouvernement allemand.

*Estacade à Mayence.*

La Commission estime que l'estacade dont la construction est projetée sur la rive gauche du Rhin, à Mayence, n'apportera pas d'entraves à la navigation, pour autant que cet ouvrage répondra aux conditions suivantes :

1. L'estacade devra être construite à 600 mètres au moins en aval du pont de Mayence ;
2. La partie de l'estacade se trouvant au-dessus de la portion du lit du fleuve immergée en eaux moyennes ne devra pas avoir plus de 25 mètres de longueur.

(Le projet dont la Commission Centrale a été saisie par la H.C.I.T.R. a pour objet la construction d'une estacade au Parc du Génie de Mayence. — Note du Secrétariat).

*Aménagement du Rhin entre Strasbourg et Bâle.*

La Commission Centrale a été avisée par les Délégations française et suisse de la suite qui a été donnée au cours de l'année 1923 aux décisions qu'elle avait prises dans sa session d'avril 1922 pour l'aménagement du Rhin entre Strasbourg et Bâle.

(Il résulte en substance de ces déclarations que, d'après les prévisions de la Délégation suisse, la Commission Centrale pourra vraisemblablement être saisie d'ici à quelques mois de propositions fermes quant au projet de régularisation que le Gouvernement suisse compte lui soumettre et dont la préparation a été confiée aux autorités badoises.

En ce qui concerne l'extension du remous du barrage de Kembs, une demande de concession a été déposée au printemps ; quelques données supplémentaires ont été fournies en juillet. Le Gouvernement suisse en a été immédiatement saisi et des pourparlers franco-suisse seront entamés à bref délai.

En ce qui concerne l'effet éventuel du remous sur territoire badois, des négociations sont encore en cours. — Note du Secrétariat.)

# La rupture du barrage du Gleno<sup>1</sup>

par A. STUCKY, ingénieur à Bâle.

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

## Examen du projet.

Avant d'essayer de reconstituer l'accident dans ses détails sur la base des données qui précèdent et d'en rechercher les causes premières, il est indiqué de refaire un calcul des piliers, puisque ce sont eux qui ont cédé les premiers. Les voûtes présentent moins d'intérêt ; elles auraient probablement résisté malgré leur exécution déplorable.

L'épure ordinaire de stabilité (fig. 5 et 6) ne décèle à première vue rien d'anormal, la résultante reste dans le noyau et donne une certaine marge pour les sous-pressions qui dans ce genre d'ouvrage sont très petites. Les compressions verticales ne dépassent pas 10 kg/cm<sup>2</sup>. Mais cette épure ordinaire ne suffit pas ; il y a lieu de rechercher la grandeur des fatigues principales en quel-

ques points intéressants. Cette recherche se fait sans difficulté analytiquement ou au moyen du cercle de Mohr.

Pour le parement amont le calcul est facile. On y connaît les directions principales qui sont parallèles et normales aux parements, ainsi que l'une des fatigues principales (la pression hydrostatique reportée à l'épaisseur du pilier) et la compression verticale donnée par l'épure de stabilité, figure 14. Ces éléments nous suffisent à dessiner le cercle de Mohr et l'on voit d'emblée que la fatigue principale  $\sigma_{II}$  est de la traction. Il en est ainsi sur les deux tiers du parement, grâce à sa pente relativement

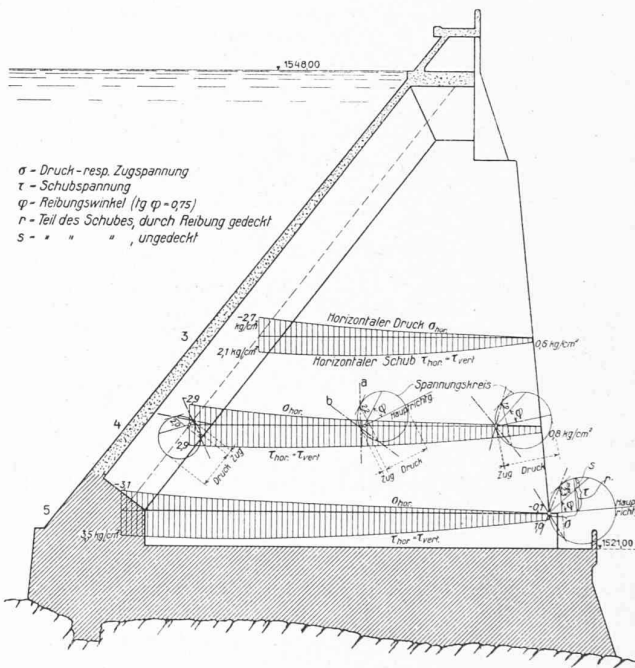


Fig. 14. — Actions moléculaires à l'intérieur d'un pilier.

$\sigma_{hor}$  = Fatigue normale horizontale. —  $\tau$  = Cisaillement horizontal ou vertical. —  $\varphi$  = Angle de frottement ( $\text{tg } \varphi = 0,75$ ). —  $r$  = Fraction du cisaillement couverte par le frottement. —  $s$  = Fraction du cisaillement non couverte par le frottement. — Cercles des actions moléculaires, avec les directions principales.

faible. Cette pente est en effet inférieure à celle d'autres barrages italiens qui nous sont connus, par exemple celui du Tirso (fig. 16). Pour le parement aval le cercle des actions moléculaires se détermine tout aussi facilement puisque l'on y connaît également les deux directions principales. Pour un point situé à l'intérieur du pilier, on est obligé de connaître d'abord les deux fatigues  $\tau$  et  $\sigma_{hor}$ .  $\tau$  se détermine facilement d'après la condition que la somme des  $\tau$  le long d'une section doit être égale à l'effort tranchant correspondant. Aux deux extrémités de cette section  $\tau$  est connu, comme nous venons de le voir ; les valeurs intermédiaires s'obtiennent par exemple approximativement au moyen de la règle de Simpson. Pour la détermination des  $\sigma_{hor}$  on se sert de la condition  $d\tau \cdot dx = d\sigma \cdot dy$  qui se déduit facilement des conditions d'équilibre pour un petit parallépipède dont les dimensions horizontales et verticales sont  $dx$ , respectivement  $dy$ . Au moyen de

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique, du 15 mars 1924, page 65.

cette condition on détermine successivement, en commençant par le parement, autant de valeurs  $\sigma_{hor}$  que l'on veut. Une fois que trois fatigues sont connues en un point donné, les directions principales ainsi que les fatigues principales se calculent facilement analytiquement au

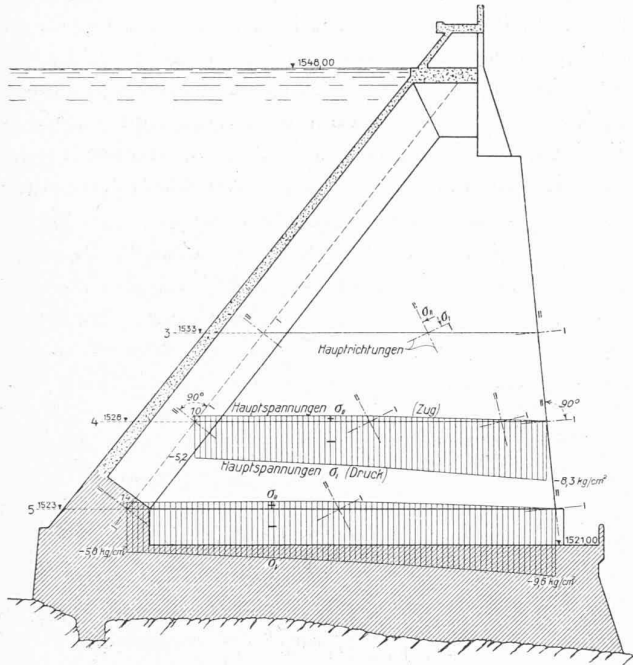


Fig. 15. — Diagramme des fatigues principales.

$\sigma_1$  = Compression. —  $\sigma_{II}$  = Traction. — I et II = Directions principales.

moyen des équations connues ou géométriquement par le cercle.

La figure 14 donne un extrait du calcul graphique des actions moléculaires en quelques points intéressants du pilier, basé sur l'hypothèse de Navier. On sait que cette hypothèse n'est pas absolument rigoureuse pour un profil dans le genre de celui qui nous occupe, mais cet écart n'a aucune importance dans le cas particulier. Il ressort de ce calcul que la plus grande fatigue de compression apparaît au pied du pilier, parallèlement au parement aval et ne dépasse pas 10 kg/cm<sup>2</sup>, tandis que le long du parement amont cette même fatigue  $\sigma_1$  est normale au parement et a pour valeur la pression hydrostatique concentrée sur l'épaisseur du pilier (par l'intermédiaire des deux demi-voûtes adjacentes). La seconde fatigue principale agissant normalement à celle que nous venons de considérer se trouve être nulle à l'aval et de la traction le long du parement amont, mais ne dépasse pas environ 2 kg/cm<sup>2</sup>. Cette apparition des fatigues de traction surprend peut-être au premier instant, puisque l'épure ordinaire de stabilité (fig. 5) indique que la courbe des pressions reste dans le noyau des sections horizontales ; mais il suffirait par exemple de considérer des sections obliques au lieu de sections horizontales pour voir que la résultante sort du noyau. On peut rendre ce phénomène plausible en considérant que le pilier est soumis à une poussée répartie le long du parement et

appuyé surtout à l'extrémité aval du pied. Ces forces extérieures produisent dans le pilier un moment fléchissant qui fait apparaître des fatigues de traction du côté de la surcharge. Il suffit de redresser ce parement amont pour que la compression due au poids propre balance ces efforts de traction.

L'interprétation du cercle de Mohr conduit par des considérations géométriques très simples à la condition :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{vert}}{\sin^2 \alpha}$$

si l'on veut éviter la traction. ( $\sigma$  est la pression hydrostatique concentrée sur la largeur du pilier,  $\sigma_{vert}$  la compression verticale du côté du parement amont telle qu'elle est donnée par l'épure ordinaire de stabilité et  $\alpha$  l'angle que fait le parement amont avec la verticale.)

Dans la figure 15 les fatigues principales de compression et de traction ont été reportées pour deux sections 4 et 5. On en conclut que la destruction n'a pas été due à un écrasement proprement dit du pilier. Les fatigues de traction, bien qu'indésirables sans doute, sont restées si faibles qu'elles n'ont pas non plus provoqué directement la catastrophe.

Il nous reste encore à voir le rôle des efforts de cisaillement. Le cisaillement horizontal est reporté dans le croquis fig. 14. Il ne dépasse pas 4 kg/cm<sup>2</sup>. Dans les sections où agit le cisaillement maximum, ce dernier atteint au plus 5 kg/cm<sup>2</sup>. Sur la même section agit simultanément une certaine compression. Si l'on supposait une fissure dans le plan considéré, cette compression ferait naître un frottement capable à lui seul de donner à l'ouvrage une

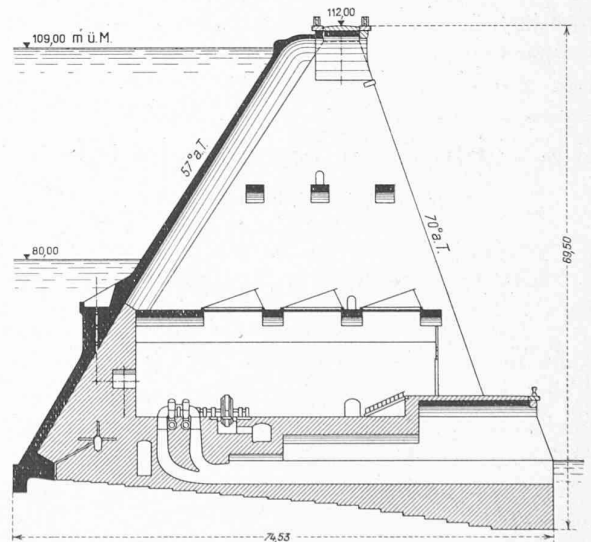


Fig. 16. — Coupe à travers le barrage du Tirso, en Sardaigne. — 1 : 1000.

certaine résistance. Il est donc intéressant de voir jusqu'à quel point l'effort de cisaillement proprement dit pourrait le cas échéant, être couvert par ce frottement. Si nous comptons par exemple avec un angle de frottement de  $tg = 0.75$ , comme c'est le cas dans la fig. 14, on constate

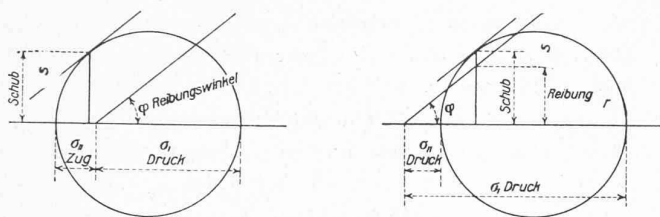


Fig. 17.

$\varphi$  = Angle de frottement, —  $\sigma_I$  et  $\sigma_{II}$  = Fatigues principales.  
Schub = Cisaillement.

que le cisaillement non couvert par le frottement est le plus grand dans un plan différent de celui où un cisaillement est maximum ( $45^\circ$  par rapport aux directions principales). Ces plans que nous appellerons *plans probables de glissement*, sont indiqués en gros traits *a* et *b*. Si l'on choisit un autre coefficient de frottement, ces plans seront légèrement différents, mais en gros leur direction restera la même. Le calcul indique que la fraction de cisaillement non couverte par le frottement peut atteindre 2 à 3 kg/cm<sup>2</sup>.

La simple interprétation du cercle de Mohr indique que la fraction de cisaillement dépassant le frottement est d'autant plus grande que l'origine des fatigues se trouve plus à l'intérieur du cercle. En d'autres termes le danger de cisaillement croît avec la grandeur de la seconde fatigue principale (traction) et peut être éliminé au contraire si cette seconde fatigue  $\sigma_{II}$  reste de la compression (fig. 17). Il y a donc un double intérêt à supprimer la fatigue de traction dans le pilier plutôt que de la faire supporter par une armature comme on pourrait être tenté de le faire. On y arrive simplement comme nous l'avons vu en redressant le parement amont. Un béton de bonne qualité supporte ce cisaillement comme le prouve l'expérience ; mais il en est de la résistance au cisaillement comme de la résistance à la traction ; elle est sujette à des variations considérables suivant la qualité du béton. Dans le cas particulier du Gleno, la qualité du béton ayant laissé beaucoup à désirer, ces deux ou trois kg/cm<sup>2</sup> que décèle le calcul ont dépassé la limite de résistance.

Dans la figure 18 nous avons reporté en quelques points du pilier les plans probables de glissement ; on voit qu'en chaque point nous avons une paire de plans ; l'un d'eux est à peu près vertical (*b*) et l'autre forme avec lui un angle d'environ  $50^\circ$  (*a*). La rupture devait donc avoir lieu suivant l'un ou l'autre de ces plans. La figure 19 montre précisément deux piliers détruits par cisaillement. Le second pilier est plus particulièrement intéressant puisqu'il est resté entier ; on y reconnaît très bien les deux directions calculées.

On peut reconstituer l'accident de la manière suivante :

Les piliers ont été sollicités au cours du remplissage jusqu'à leur extrême limite de résistance. Il est probable que plusieurs d'entre eux ont déjà montré des symptômes de glissement que le gardien n'aura pas su reconnaître. Sans la cause secondaire qui a provoqué la rupture du premier pilier et à laquelle nous allons revenir, il est pro-

bable que la catastrophe se serait produite quand même par cisaillement d'autres piliers, dès que l'état de désagrégation du béton aurait été un peu plus avancé.

Si nous rappelons que la fondation a été exécutée, du moins en partie, avec de la chaux, que le lac a été rempli au fur et à mesure de son avancement, on comprendra que le mortier ayant servi à confectionner le bloc de fondation et plus particulièrement à former la liaison avec le rocher, n'a pas pu faire prise, ce que j'ai pu constater après la rupture. Le niveau du lac s'élevant a provoqué des infiltrations entre le rocher et la maçonnerie d'autant plus facilement que le rocher a été laissé parfaitement lisse. Ces infiltrations lentes ont réussi au cours du mois de novembre à ramollir la chaux et à la dissoudre partiellement faisant intervenir une forte sous-pression qui a même modifié notablement les conditions d'équilibre. A un moment donné, le pilier a cédé probablement par glissement comme le ferait croire la figure 10 peut-être aussi par écrasement comme le suggère la figure 11 ; ce léger tassement n'aurait pas été nécessairement fatal si le béton du pilier en question avait été intact ou avait eu un grand module d'élasticité *E*. Mais dans le cas particulier les matériaux étaient incapables de supporter le moindre tassement sans déchirement. Ce tassement du pilier aura provoqué des poussées asymétriques des voûtes, qui ont encore accéléré la destruction du premier pilier suivant la version du gardien.

**Conclusion.**

Les constatations qui précèdent se résument comme suit : Le projet, tout en ne présentant pas des erreurs très dangereuses par elles-mêmes, n'offrait pas la sécurité que

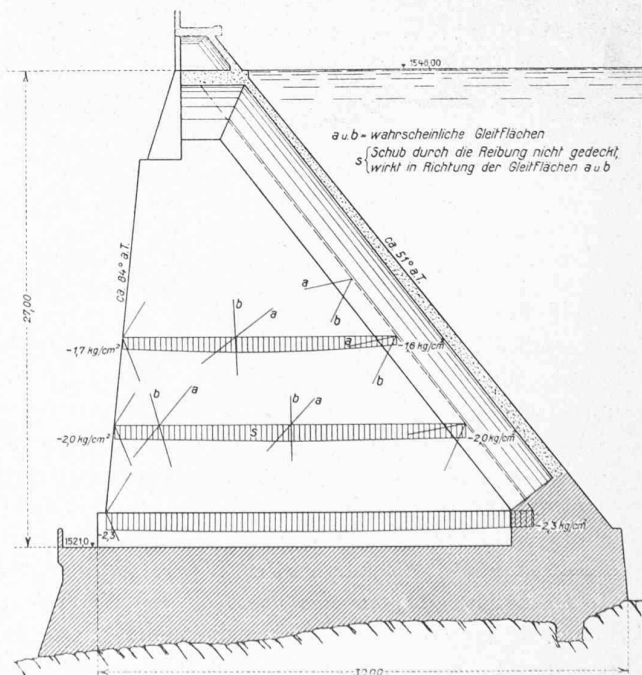


Fig. 18. — Sollicitation d'un pilier au cisaillement.

*a* et *b* = surfaces probables de glissement. — *s* = cisaillement non couvert par le frottement et agissant suivant les faces *a* et *b*.



l'on est en droit de réclamer de tels ouvrages. L'exemple du barrage du Tirso, que nous avons donné précédemment, indique que les défauts du projet du Gleno ont été évités ailleurs.

L'implantation du barrage laissait également à désirer. Le rocher de fondation aurait dû être taillé de manière que l'appui fût pour le moins horizontal, mais en aucune façon incliné vers l'aval.

En Suisse, on n'emploierait évidemment pas de chaux pour la construction d'un tel ouvrage; en Italie la coutume est différente, mais on mélange toujours de la pouzolane à la chaux, afin de donner à cette dernière des qua-

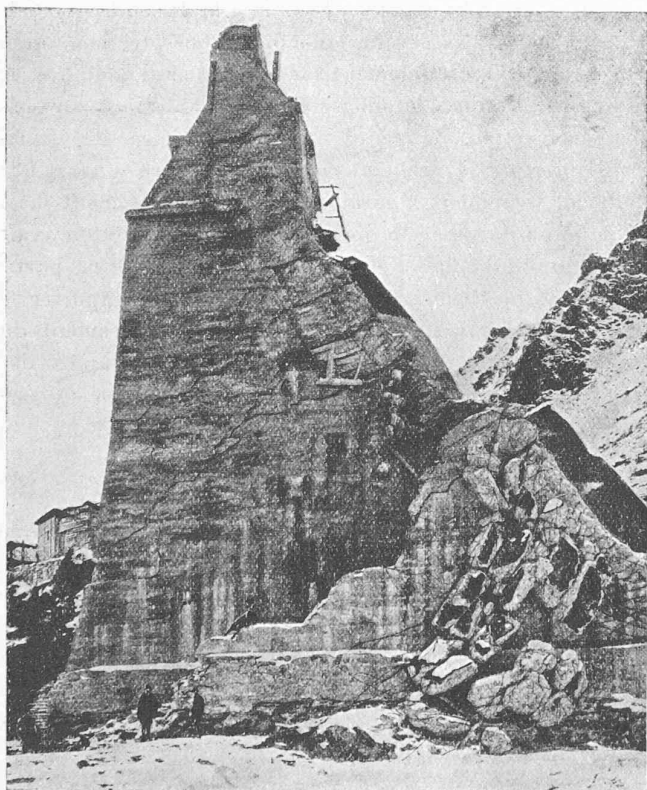


Fig. 19. — Vue d'un des piliers de la rive droite. (Comparer les fissures avec les plans *a* et *b* de la figure 18.)

lités hydrauliques. Il eût été dans tous les cas indiqué, si l'on voulait absolument utiliser de la chaux, de ne pas la fabriquer soi-même, mais de se fournir auprès d'une fabrique expérimentée et surtout de ne pas mettre le barrage sous pression avant que cette chaux ait eu le temps de faire prise. Si l'on avait voulu satisfaire rigoureusement à cette dernière condition, il aurait fallu attendre si longtemps que l'emploi de ciment Portland se serait imposé. Dans tous les cas, il paraît indiqué de n'utiliser à l'avenir pour des barrages que du ciment Portland de première qualité exclusivement.

Il resterait encore à relever que la fabrication de la maçonnerie et du béton n'a pas reçu tous les soins désirables. Il est indispensable pour la construction de tout barrage de ne recourir qu'à des mélanges appropriés de

sable et de gravier, préalablement déterminés par des expériences et contrôlés au cours des travaux par des essais de résistance.

Il ressort assez clairement de ce qui précède qu'il n'y a aucune comparaison à faire avec les grands barrages suisses en particulier dont les conditions statiques sont très différentes de celles du Gleno et dont l'exécution est aussi bien meilleure.

Bâle, le 8 janvier 1924.

Nous apprenons que M. A. Stucky, tout en conservant le contact avec son ancien chef, M. H.-E. Gruner, vient d'ouvrir un bureau d'ingénieur-conseil, à Bâle. (Réd.)

### Concours de plans pour un bâtiment scolaire, à Blonay.

Rapport du Jury.

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

*S-E ou O.* : Beau projet d'ensemble. La disposition des bâtiments réduit les préaux et sacrifie du terrain au nord. Le mur de soutènement pourrait être remplacé par un talus. Bonne orientation des classes. Heureuse disposition des plans. Façade simple et d'un caractère approprié à la contrée.

*Bouton jaune et bleu* : Bonne disposition générale dans le terrain. La grande salle placée au sud-est éloigne les locaux scolaires de la limite sud-est; quoique défendable, cette disposition nuit à l'insolation des classes. Bons plans; bons dégagements; salle de la Municipalité trop petite. Façade correcte. Le mur de soutènement aurait pu être réduit.

*Blonay* : Intéressante implantation des bâtiments, donnant une excellente orientation aux classes et à la salle de gymnastique. Ce projet entraîne la démolition de l'ancien collège. Très belle orientation des deux bâtiments, laissant un préau spacieux et décoratif. Le plan laisse à désirer dans la disposition de ses entrées, aux dégagements un peu étroits et compliqués.

L'escalier est un peu excentrique et ne dessert pas très bien toutes les classes. La disposition des W.-C. n'est pas bonne. Façade d'une très belle composition, mais d'un caractère peu approprié à une école primaire de village. Cube très élevé.

*Chenelly* : Bonne implantation mais sacrifiant trop de terrain au nord-est au détriment du préau. Bonne orientation des locaux scolaires. Plan bien distribué, manquant cependant de simplicité. Façades bien étudiées, mais de silhouette un peu découpée.

Le jury dispose d'une somme de 3500 francs, qu'il décide de répartir comme suit :

1<sup>er</sup> prix, projet « Deux partis » B, 1600 fr.

2<sup>me</sup> prix, projet « Si qua fata sinant », 1200 fr.

3<sup>me</sup> prix, projet « S-E ou O », 700 fr.

Il est ensuite procédé à l'ouverture des enveloppes qui donnent les résultats suivants :

1<sup>er</sup> prix, M. Ch. Thévenaz, architecte à Lausanne.

2<sup>me</sup> prix, M. Henri Baudin, architecte à Genève.

3<sup>me</sup> prix, MM. F. Gilliard et F. Godet, architectes à

Lausanne.

Le jury est heureux de constater la valeur des projets présentés et préavis pour que l'exécution soit confiée à l'auteur du projet ayant obtenu le premier prix.

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique du 1<sup>er</sup> mars 1924, page 57.