

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 66 (1940)
Heft: 26

Artikel: Erosion et cavitation
Autor: Haller, P. de
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-50682>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 13.50 francs

Etranger : 16 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 11 francs

Etranger : 13.50 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. —

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président: R. NEESER, ingénieur, à Genève; Vice-président: M. IMER, à Genève; secrétaire: J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres: *Fribourg*: MM. L. HERTLING, architecte; A. ROSSIER, ingénieur; *Vaud*: MM. F. CHENAUX, ingénieur; E. ELSKES, ingénieur; EPITAUX, architecte; E. JOST, architecte; A. PARIS, ingénieur; CH. THÉVENAZ, architecte; *Genève*: MM. L. ARCHINARD, ingénieur; E. ODIER, architecte; CH. WEIBEL, architecte; *Neuchâtel*: MM. J. BÉGUIN, architecte; R. GUYE, ingénieur; A. MÉAN, ingénieur; *Valais*: M. J. DUBUIS, ingénieur; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION: D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

Publicité : TARIF DES ANNONCES

Le millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions
de pages.

Rabais pour annonces
répétées.



ANNONCES-SUISSES s.a.
8, Rue Centrale,
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président; M. BRIDEL; G. EPITAUX, architecte; M. IMER.

SOMMAIRE: *Erosion et cavitation*, par P. DE HALLER, ingénieur, D^r ès sciences techniques, Institut d'aérodynamique de l'E. P. F. — *Concours pour l'étude des plans du bâtiment scolaire de Bex*. — *Navigation du Rhône au Léman et au Rhin*. — CARNET DES CONCOURS — COMMUNIQUÉ. — SERVICE DE PLACEMENT.

Erosion et cavitation

par P. DE HALLER, ingénieur, D^r ès sciences techniques¹,
Institut d'aérodynamique de l'E. P. F.

Le terme d'érosion éveille en général l'idée d'un processus géologique se déroulant à grande échelle, dans lequel des milliers de tonnes de matériaux sont arrachées et transportées loin de leur lieu d'origine. Les phénomènes intéressant le technicien sont beaucoup plus modestes et par là même nous touchent de plus près. Si l'on remarque que telle usine hydroélectrique doit remplacer tous les deux ans ses roues Pelton, ou que les 4 hélices, pesant chacune 20 tonnes, d'un transatlantique ont dû être changées après une seule traversée aller et retour, on se rend compte des raisons impérieuses qui ont obligé les ingénieurs à s'occuper de cette question, qui semblait jusqu'ici réservée aux géologues.

L'érosion se manifeste pour l'ingénieur sous des aspects fort différents; une définition précise permettra de mettre de l'ordre dans la masse des observations diverses. Nous désignerons donc par « érosion » toute usure d'un matériau soumis à un fluide en mouvement, par opposition à la corrosion d'origine chimique, qui agit même lorsque le fluide est au repos. Pour éviter toute confusion, nous ajouterons que cette usure est due avant tout à une action mécanique. L'érosion est donc l'usure mécanique d'un corps soumis à l'écoulement d'un fluide.

Quelques exemples illustreront cet énoncé: la figure 1

¹ Conférence faite à Lausanne le 14 septembre 1940, à l'occasion des manifestations relatives aux problèmes de la *Corrosion*, de l'*Erosion* et de l'*Usure des matériaux*.

représente un pointeau de turbine Pelton fortement usé par une eau sablonneuse; la figure 2 une ailette de turbine à vapeur érodée par les gouttelettes d'eau en suspension dans la vapeur, et la figure 3 montre l'effet de la cavitation sur une hélice marine. Ce sont là trois aspects différents correspondant chacun à un des 3 types d'érosion que nous allons considérer d'un peu plus près:

1. Erosion par corps solides entraînés dans le fluide.
2. » » martelage d'un liquide pur.
3. » » cavitation ou par onde de pression.

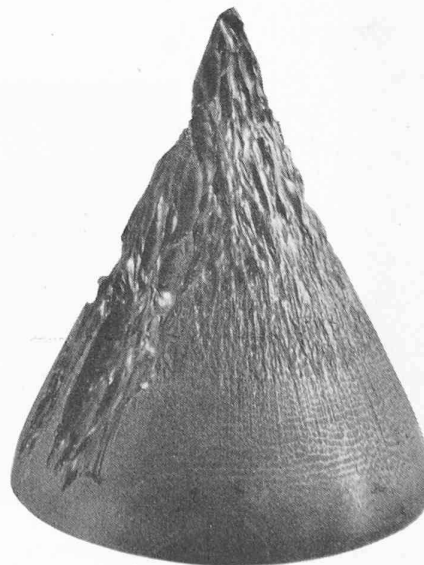


Fig. 1.

Pointeau de turbine Pelton érodé par le sable.

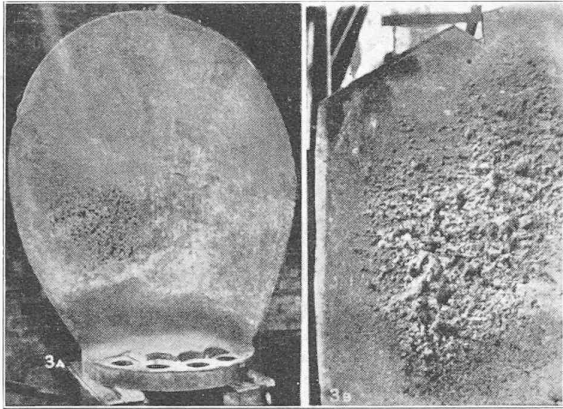


Fig. 3. — Pale d'hélice marine érodée par cavitation.

* * *

Dans l'étude de l'érosion par corps solide, il faut encore distinguer quelques cas particuliers : les lois régissant l'usure et son aspect sont foncièrement différentes suivant que la densité des particules entraînées est beaucoup plus élevée ou du même ordre de grandeur que celle du fluide entraînant¹. Considérons par exemple un jet de sable tel qu'on l'utilise pour le nettoyage des pièces de fonderie. Le jet d'air frappant normalement l'objet est régulièrement dévié et s'écoule ensuite parallèlement à la surface (fig. 4). Les grains de sable, environ 2000 fois plus denses que l'air, ne suivent pas le mouvement du fluide et viennent frapper violemment la surface qu'ils atteignent à peu près perpendiculairement. L'usure sera donc maximum au centre du jet, où la sur-

¹ Plus exactement c'est la vitesse de chute des particules dans le fluide considéré qui importe et non le rapport des densités, qui n'est qu'un des facteurs intervenant dans le phénomène.



Fig. 2. — Ailette de turbine érodée par les gouttes d'eau en suspension dans la vapeur.

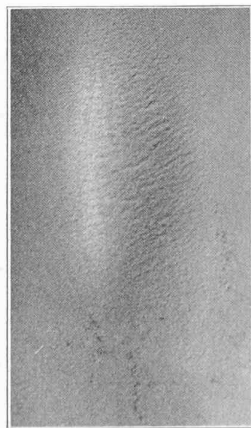


Fig. 5. — Acier soumis au jet de sable.

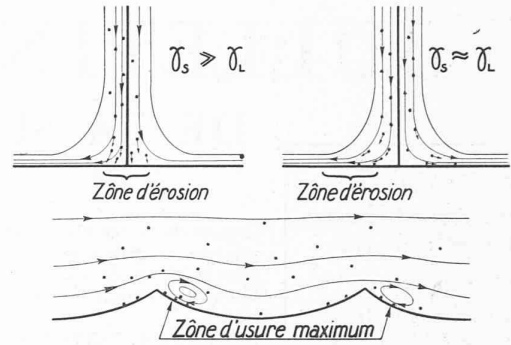


Fig. 4. — Schéma du mécanisme d'érosion sur le sable.
 σ_s = densité du sable. σ_L = densité du fluide.

face prend un aspect granuleux typique (fig. 5). En dehors du point d'impact, l'attaque diminue rapidement. Le résultat est tout différent si on utilise l'eau comme fluide porteur. Le sable n'est guère que 2 à 2,5 fois plus lourd que l'eau, il est obligé de suivre plus ou moins le mouvement du fluide, et ne peut donc pas atteindre la surface au centre du jet. C'est plus loin qu'il entrera en contact avec l'objet, et sa vitesse sera à peu près tangentielle ; il provoquera l'usure par rabotage ou limage, et non par martelage. Dans ce cas, la surface reste relativement lisse, mais présente des ondulations irrégulières, à peu près normales à la direction de l'écoulement. Le mode de formation de ces ondulations est le suivant : dans un creux, les grains de sable sont pressés contre la surface par la force centrifuge, tandis que sur une bosse, cette même force centrifuge les en écarte ; l'usure sera donc maximum au fond du creux qui tend ainsi à s'accroître. Il faut ajouter à cela l'effet des tourbillons produits derrière un obstacle, qui usent particulièrement le métal derrière la crête. La figure 6 est un exemple typique de ce genre d'érosion.

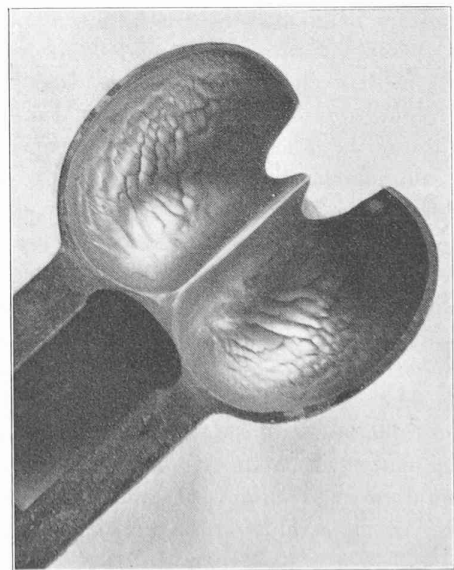


Fig. 6. — Aube Pelton ayant travaillé avec de l'eau sablonneuse.

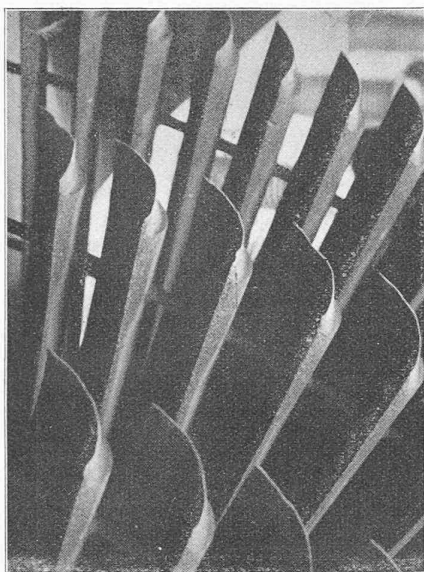


Fig. 7. — Erosion d'une turbine à vapeur.

L'usure par le sable est donc due au choc ou au frottement d'un corps solide contre le matériau. Il n'est pas nécessaire que le fluide entraîne un corps solide ; le *choc répété d'un liquide* suffit dans certains cas pour désagréger les métaux les plus durs. Le type de ce genre d'érosion se rencontre dans la turbine à vapeur travaillant avec de la vapeur saturée d'humidité. L'ailette animée d'une grande vitesse périphérique vient frapper les gouttelettes en suspension dans la vapeur, et son bord d'attaque est assez rapidement érodé (fig. 7). Les turbines Pelton sont également sujettes à ce genre d'usure, spécialement si le jet d'eau est désagrégé et divergent, de sorte que l'auget rencontre des masses d'eau arrivant sous un mauvais angle d'incidence (fig. 8)¹ d'où le choc répété qui entraîne la destruction du métal. Le choc est essentiel : un jet compact arrivant normalement sur une plaque (fig. 9) produit une pression continue inoffensive, tandis que les boulons de fixation soumis au martelage des masses d'eau désagrégées par l'impact sont fortement atteints.

Pour qu'il y ait martelage effectif, il faut que les gouttes arrivent à peu près normalement à la surface. Mais on observe également l'érosion en l'absence de gouttes distinctes, dans le liquide pur se déplaçant tangentielle à la surface du corps considéré : c'est le troisième mode d'érosion, par *cavitation* ou par *ondes de pression*.

Bien que la cavitation soit suffisamment connue à l'heure actuelle, il n'est pas inutile d'en rappeler les caractéristiques principales.

On sait que dans un Venturi (convergent-divergent)

¹ Quelques auteurs (Tenot, Fulton, Müller) attribuent ces dégâts à la cavitation. Il semble pourtant bien que cette dernière ne puisse se produire sur des surfaces concaves se déplaçant dans l'air libre, où une forte dépression est impossible.

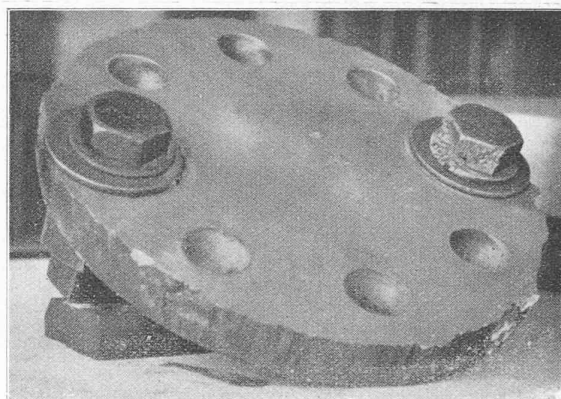


Fig. 9. — Plaque soumise à un jet d'eau de 60 atm. La plaque elle-même est intacte, mais les boulons d'attache, frappés par le jet, désagrégés, sont érodés.

la pression atteint son minimum au point le plus étroit. Ce minimum lui-même est une fonction de la vitesse d'écoulement : la pression diminue proportionnellement au carré de la vitesse. Il arrive un moment où la pression atteint la tension de vapeur de l'eau, qui se met littéralement à bouillir, avec dégagement de gaz et de vapeur. C'est ce phénomène que les Anglais ont appelé « cavitation ». Les bulles de vapeur ainsi formées sont entraînées par l'écoulement et arrivent dans une région où la pression est plus élevée ; la vapeur n'est plus en équilibre et doit se condenser, les bulles disparaissent. Dans la zone où se produit cette condensation, les parois sont attaquées et présentent l'aspect spongieux et irrégulier

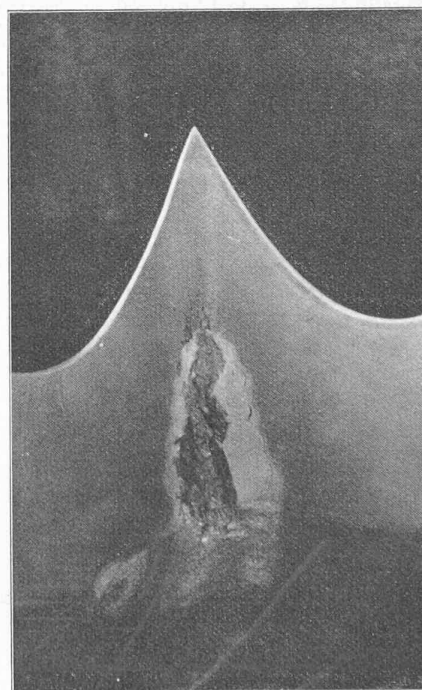


Fig. 8. — Effet du martelage sur un auget Pelton. Les taches blanches sont des restes de réparation par soudure électrique.

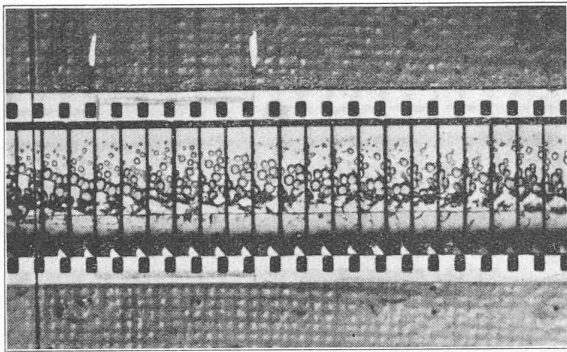


Fig. 10. — Cinématographie ultra-rapide des bulles de cavitation (Müller, Naturwissenschaften 1928). Sens de l'écoulement de haut en bas, temps croissant de gauche à droite. On suit aisément la formation progressive et la condensation brusque des bulles de vapeur.

typique pour ce genre d'érosion. Quelle est la relation entre la condensation de la cavitation et l'érosion ? On montre que des bulles de vapeur soumises à une augmentation de la pression sont essentiellement instables, c'est-à-dire que lorsqu'elles ont commencé à se condenser, ce processus continuera avec une vitesse toujours plus grande, jusqu'à la disparition totale (fig. 10). Au dernier moment, les parois de la bulle sont animées d'une vitesse relative élevée et buttent l'une contre l'autre, produisant un choc exactement comparable à celui d'un « marteau d'eau ». Dans tout fluide élastique un choc donne naissance à une onde de pression, qui se propage à la façon des ondes sonores jusqu'aux parois limitant l'écoulement. Or des ondes de pression peuvent parfaitement provoquer une désagrégation des matériaux, comme on a pu le prouver au moyen de l'appareil représenté dans la figure 12. Il se compose d'un cylindre en acier rempli d'un liquide quelconque, fermé à une extrémité par l'éprouvette et à l'autre par un piston exactement ajusté, sur lequel frappe un marteau mécanique. Après quelques dizaines de mille coups, l'éprouvette est nettement érodée. Si on suit au microscope la marche de l'érosion, on constate dans un fer doux par exemple, que les limites des cristaux et les inclusions de scories ou autres inhomogénéités sont atteintes en premier lieu. Dans la fonte ce sont les paillettes de graphite qui constituent le point faible (fig. 13).

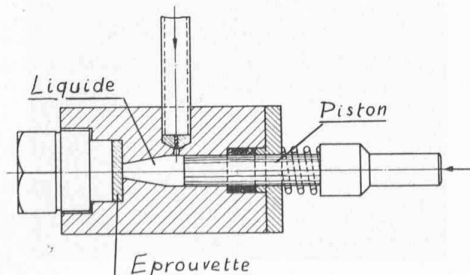


Fig. 12. — Essais d'érosion par onde de pression dans un liquide.

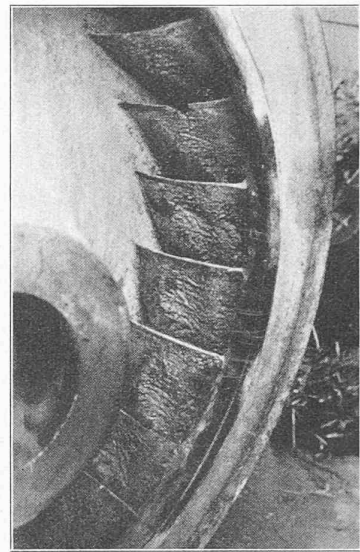


Fig. 11. — Turbine Francis érodée par cavitation.

Bien que d'aspects fort différents, les trois types d'érosion que nous avons considérés ont ceci de commun que la destruction est due dans tous les cas à des chocs répétés : choc de deux corps solides dans l'érosion par le sable, choc d'un solide contre un liquide dans le martelage et choc au sein d'un liquide dans la cavitation. Comment ces chocs, qui sont souvent relativement faibles, peuvent-ils désagréger aussi rapidement les meilleurs alliages, c'est ce qu'on ne peut jusqu'ici expliquer nettement. Une chose paraît certaine, c'est que les théories mathématiques de l'élasticité, fondées sur l'hypothèse de la continuité de la matière, sont impuissantes à rendre compte de ces phénomènes. Il faudra avoir recours aux

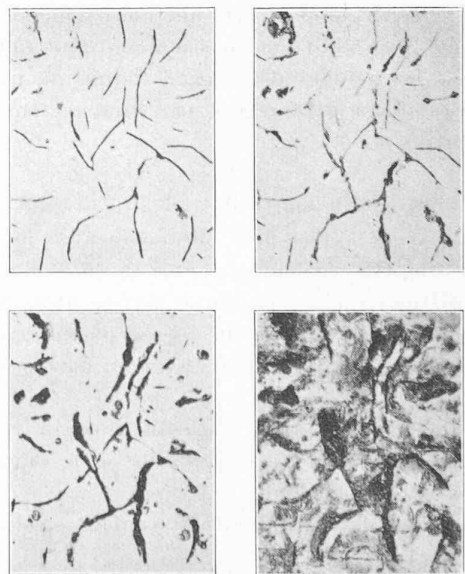


Fig. 13. — Marche de l'érosion sur de la fonte grise. Les paillettes de graphite sont en premier désagrégées.

théories modernes sur la structure atomique des cristaux pour résoudre le problème.

Au cours de cet exposé, nous avons laissé de côté la question, pourtant essentielle, de la protection contre l'érosion. La raison de cette abstention est qu'on ne connaît pas de remède absolu, sinon celui, évident, qui consiste à éviter la cause de l'érosion. C'est ainsi qu'on établit, au captage des torrents de montagne, des dessableurs, destinés à retenir la majeure partie des alluvions. De cette façon on réduit l'usure dans une très forte proportion. Le choix judicieux des matériaux utilisés permet encore une diminution sensible des dégâts, sans qu'il soit possible de les éviter complètement.

Dans le cas de la cavitation, le problème est un peu différent, en ce sens qu'il est techniquement possible d'empêcher absolument toute cavitation, mais cela nécessite la mise en œuvre de moyens souvent incompatibles avec la rentabilité des installations. Bien que la cavitation fortement développée soit capable de détruire les corps les plus durs : aciers, verre, saphir ou rubis même, il y a des degrés dans l'intensité de l'érosion, et l'expérience a permis de déterminer à quelle forme de cavitation peut résister un matériau donné. Ce sera le rôle de l'ingénieur d'adopter un compromis acceptable entre les nécessités économiques et les lois de la physique.

Concours pour l'étude des plans du bâtiment scolaire de Bex.

Extrait du rapport du Jury.

Le jury a siégé les 14, 15 et 18 octobre 1940. Il est composé de MM. *Croset*, syndic de Bex ; *Gerber*, conseiller municipal à Bex ; *F. Gilliard*, *Virieux* et *Perrelet*, architectes à Lausanne.

82 projets ont été présentés ; ils sont tous parvenus dans le délai prescrit.

Les membres du jury procèdent à un premier examen général des projets.

A un *premier tour d'élimination*, 25 projets sont écartés pour insuffisance générale.

Au *second tour*, 42 projets sont éliminés pour insuffisance générale et en particulier pour les défauts suivants : mauvaise utilisation du terrain, soit implantation maladroite du bâtiment scolaire ou de la salle de gymnastique, création de façades aveugles implantées sur les limites du terrain, distribution défectueuse des locaux, erreur d'éclairage de divers locaux, des vestibules notamment.

Au *troisième tour*, le jury écarte 7 projets après en avoir donné une critique détaillée.

Restent en présence 8 projets.

L'étude des projets amène le jury à formuler les considérations suivantes :

Le bâtiment scolaire doit être repoussé aussi en arrière que possible, de manière à ménager un vaste préau au sud.

Les façades est et ouest ne doivent pas être implantées sur les limites du terrain, comme on pourrait le faire le long d'une avenue bâtie en ordre contigu ; car il est très improbable que

les voisins construisent jamais en mitoyenneté des bâtiments s'accordant avec le collège.

On risquerait donc d'avoir indéfiniment de grands murs aveugles qui dépareraient l'aspect général de Bex.

La salle de gymnastique est bien placée dans la parcelle au nord de la servitude de passage, cependant elle ne doit pas en occuper le milieu, rendant ainsi tout le terrain inutilisable.

Il serait avantageux de profiter de la déclivité du terrain vers le nord, en plaçant le sol de la salle de gymnastique à peu près au niveau du sous-sol du bâtiment scolaire, de manière à avoir un passage direct sous la servitude de passage entre les douches et la salle de gymnastique.

Conclusions : Le concours a eu l'avantage de révéler nettement quelle serait la meilleure utilisation du terrain.

Après un nouvel examen, le jury classe les 8 projets restant dans l'ordre suivant :

Premier rang : projet « 3 étapes ». — Deuxième rang : projet « Avenir II ». — Troisième rang : projet « Vers le Sud ». — Quatrième rang : projet « Tout au Sud ». — Cinquième rang : projet « Prisme économique ». — Sixième rang : projet « Plaine et montagne ». — Septième rang : projet « A. B. C. III. ». — Huitième rang : projet « Lulu ».

Le jury décide de répartir de la façon suivante la somme de 6000 fr. mise à sa disposition : premier prix : 1900 fr. ; deuxième prix : 1700 fr. ; troisième prix : 1400 fr. ; quatrième prix : 1000 fr.

Les enveloppes sont ouvertes et les lauréats proclamés comme suit :

Premier rang : projet « 3 étapes » ; auteurs : MM. *Meylan*, architecte à Lausanne et *Mercier*, architecte à Morges.

Deuxième rang : projet « Avenir II » ; auteur : M. *Meylan*, architecte à Lausanne.

Troisième rang : projet « Vers le Sud » ; auteurs : MM. *Ramelet* et fils et *Pahud*, architectes à Lausanne.

Quatrième rang : projet « Tout au sud » ; auteur : M. *Chevalley*, architecte à Lausanne.

M. *Meylan* ne pouvant toucher qu'un seul prix, l'enveloppe du cinquième rang est ouverte. L'auteur est M. *Chevalley* ; celui-ci touchant déjà un prix, l'enveloppe du sixième rang est ouverte. L'auteur est M. *Chevalley*. L'enveloppe du septième rang est ouverte. L'auteur est M. *Baumann*, architecte à Lausanne.

Les prix sont alors attribués comme suit :

Premier prix, 1900 fr. : MM. *Meylan* et *Mercier*, architectes à Lausanne et Morges.

Deuxième prix, 1700 fr. : MM. *Ramelet* et fils et *Pahud*, architectes à Lausanne.

Troisième prix, 1400 fr. : M. *Chevalley*, architecte à Lausanne.

Quatrième prix, 1000 fr. : M. *Baumann*, architecte à Lausanne.

Bex, le 18 octobre 1940¹.

Le Jury.

¹ La publication des résultats de ce concours a été retardée par le fait que les autorités communales de Bex n'ont pu nous céder les plans qu'au début de décembre. (Réd.)