

L'effondrement du quai du trait de Baye à Montreux survenu le 19 mai 1891: étude géologique et technique

Autor(en): **Schardt, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes**

Band (Jahr): **18 (1892)**

Heft 5 & 6

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-16938>

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.

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT 8 FOIS PAR AN

Sommaire : L'effondrement du quai du trait de Baye à Montreux, survenu le 19 mai 1891, par le Dr Hans Schardt, géologue, professeur. Avec planches, N^{os} 6, 7, 8. — Vibrations des ponts métalliques. — Bibliographie.

L'EFFONDREMENT

DU QUAI DU TRAIT DE BAYE A MONTREUX

survenu le 19 mai 1891.

Etude géologique et technique.

Par le Dr HANS SCHARDT, géologue, prof.

Planches N^{os} 6 à 8.

Avant-propos.

Le présent rapport, entrepris sur la demande de la municipalité de la commune des Planches à Montreux, fut présenté à cette autorité en date du 28 novembre 1891, après avoir été consulté par la commission d'expertise constituée à propos du différend de Repelaer contre commune des Planches. C'est ensuite du désir exprimé par les membres de cette commission que l'autorité susnommée a décidé de publier ce rapport en me priant de m'occuper de cette publication. M. le professeur Forel a bien voulu revoir le manuscrit et me conseiller quelques corrections; j'ai également profité de cette occasion pour introduire quelques modifications de formes, nécessitées par le fait que toutes les planches et dessins du rapport n'ont pas pu être joints à la publication; j'ai été heureux de pouvoir ajouter quelques détails sur l'effondrement du quai de Vevey, ainsi que des profils que la municipalité de cette ville a bien voulu m'autoriser à publier.

*Au conseil municipal de la commune des Planches,
Montreux.*

Monsieur le syndic et Messieurs,

Ensuite de l'accident qui a fait disparaître sur une longueur de 70 m. l'extrémité du quai récemment construit au Trait de Baye, vous m'avez fait l'honneur de me charger d'une étude sur les causes qui peuvent avoir produit ce sinistre et les circonstances qui l'ont accompagné ou qui résultent de la disparition de cette construction.

Vous avez bien voulu m'accorder la latitude la plus complète de m'entourer d'aides et d'entreprendre toutes les recherches que je jugerais nécessaires. Ce travail a été long parce que je tenais à le faire d'une manière complète, afin de pouvoir présenter avec netteté les conclusions pouvant répondre aux questions posées.

Les conseils et renseignements qui m'ont été donnés par

M. Charles Chessex, membre de la municipalité, m'ont été d'un grand secours. J'ai trouvé dans la personne de M. le géomètre Jaquet un aide aussi intelligent que consciencieux; enfin nombre de personnes, qui seront citées par la suite, m'ont donné des renseignements et des indications qui m'ont été fort utiles.

Désigné pour faire partie de la commission d'expertise¹ devant se prononcer sur le différend pendant entre la commune des Planches et M. van de Wall Repelaer, j'ai eu l'occasion d'entendre les dépositions d'une quarantaine de témoins parmi lesquels plusieurs témoins oculaires de la catastrophe. Il m'a été possible ainsi et à l'aide des plans détaillés que j'ai pu étudier, de comprendre mieux les conditions dans lesquelles la construction du quai s'est accomplie et de reconstituer la marche des événements lors de l'écroulement.

Vers la fin de mai j'ai visité le lieu de l'accident avec M. le professeur Forel et plus tard avec M. A. Delebecque, ingénieur des ponts et chaussées à Thonon; j'ai pu profiter de l'avis et des lumières de ces deux excellents connaisseurs des rives de notre lac.

Je tiens à exprimer ici toute ma reconnaissance aux personnes qui ont bien voulu me seconder de leur aide et de leurs conseils.

Introduction.

Constructions au bord de l'eau et sur terrain sec. — Les constructions élevées dans le voisinage d'une rivière ou d'une nappe d'eau sont, bien plus que celles établies sur un terrain sec, sujettes à s'effondrer; non pas que la présence de l'eau nuise à la maçonnerie, aux matériaux employés, mais parce que le sol immergé en partie, ou du moins imprégné d'eau n'offre pas la même résistance à la surcharge résultant de la construction. Le sol cède à cette pression aussitôt que les conditions d'équilibre ne satisfont plus à sa stabilité. C'est pour augmenter cette stabilité que l'on use ordinairement du pilotage pour les constructions au bord de l'eau, afin de rendre solidaire une épaisseur verticale plus considérable de terrain.

Ces faits sont du reste bien connus. Ils sont encore corroborés par la circonstance que dans presque tous les cas d'effondrements de constructions au bord de l'eau, c'est toujours une

¹ Cette commission était composée de MM. G. Autran et Buttica, ingénieurs à Genève, Bezencenet, architecte à Lausanne et du sousigné, sous la présidence de M. le juge de paix Aubert à Montreux.

partie du terrain qui disparaît en même temps ; autrement dit, le terrain cède le premier et la construction suit aussitôt après.

Faisons pour un moment abstraction complète du fait d'une construction, considérons la rive d'un lac dans son état absolument naturel, vierge de l'activité humaine ; nous pourrions y observer ce qui suit :

Atterrissements opérés par les torrents. — Le bassin d'un lac tend constamment à se combler par les apports de matériaux charriés par les torrents, ruisseaux, rivières et ses affluents. Ces matériaux sont entassés autour de l'embouchure des cours d'eau, parce qu'à l'arrivée dans le lac la vitesse de l'eau se réduit presque à zéro. Le dépôt de ces matériaux de charriage ne se ferait qu'au point de l'embouchure même et forcerait celle-ci à se déplacer de plus en plus en avant dans le lac (surtout pour le cas de torrents et rivières endigués) si l'action du vent ne se faisait pas sentir. Les vagues soulevées par le vent transportent les matériaux, gravier et sable, le long de la rive à gauche et à droite de l'embouchure, mais le plus fort accroissement de la terre a toujours lieu dans le voisinage immédiat de l'embouchure même. C'est ainsi que se sont formés et se forment encore les cônes de déjection des torrents et rivières.

La rive d'un lac, lorsqu'elle est formée de gravier, peut se diviser en quatre zones :

a) *La terre exondée.* La zone que l'eau même des plus fortes vagues n'atteint plus ; c'est de la terre ferme gagnée et définitivement cultivable.

b) *La grève.* Zone que l'eau des vagues recouvre à chaque ouragan ; les galets qui recouvrent la grève sont souvent agités et la végétation n'a pas le temps de s'y établir en permanence ; l'inclinaison est de 5—15°.

M. Forel distingue dans la grève encore deux zones, là du moins où elle est très large :

1. *La grève exondée* que les vagues n'atteignent qu'au moment des hautes eaux ;

2. *La grève inondable* que les vagues atteignent aux basses eaux et que les hautes eaux recouvrent en permanence.

c) *La beine* ou *blanc-fond* est la zone toujours recouverte d'eau, mais dont le fond est encore atteint par l'action des vagues, capable de remuer des galets, des graviers et du sable. C'est le *prolongement sous-lacustre de la grève* ; elle a comme celle-ci une inclinaison de 10—15°.

d) *Le mont* commence à la profondeur où les vagues n'ont plus aucune action sur le fond. Les matériaux charriés par les vagues, les sables fins surtout, puis les limons suspendus dans l'eau, tombent dans cette région et s'y entassent ; les plus grossiers près de la beine, les plus fins plus au large. Entre le mont et les grandes profondeurs à fond plat suit un *talus*, de moins en moins incliné ; mais le degré d'inclinaison varie suivant le volume des matériaux et la profondeur. La zone à forte inclinaison du sommet du talus porte spécialement le nom de *mont*.

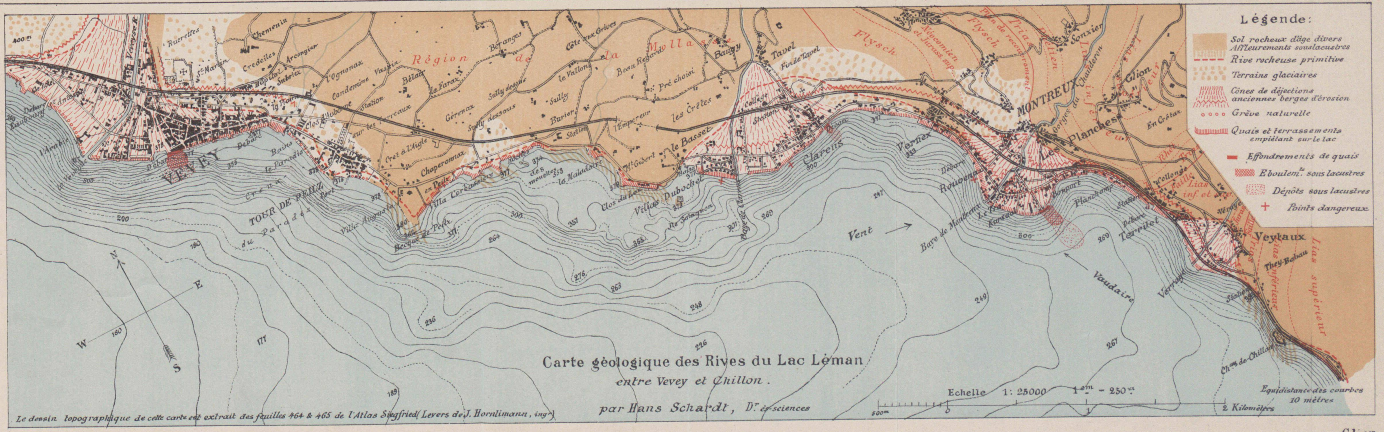
Il se forme un mont et une beine non seulement autour des deltas des rivières et des cônes de déjection des torrents, mais partout le long de la rive, où le mouvement des vagues arrache des débris d'un talus côtier, d'une falaise de graviers par exemple. Dans ce dernier cas la beine n'est pas inclinée comme devant un cône torrentiel à charriage grossier, mais

elle est horizontale et large quelquefois de plusieurs centaines de mètres. Aussi la grève est quelquefois très large. C'est autour des cônes de déjection torrentiels que la grève et la beine ont les plus faibles largeurs, où conséquemment le mont est le plus près de la rive.

A l'embouchure d'un torrent charriant de gros matériel, le mont sera très incliné ; à l'embouchure d'une rivière, ne charriant que du limon, le mont aura une inclinaison moindre, aussi la beine sera plus large.

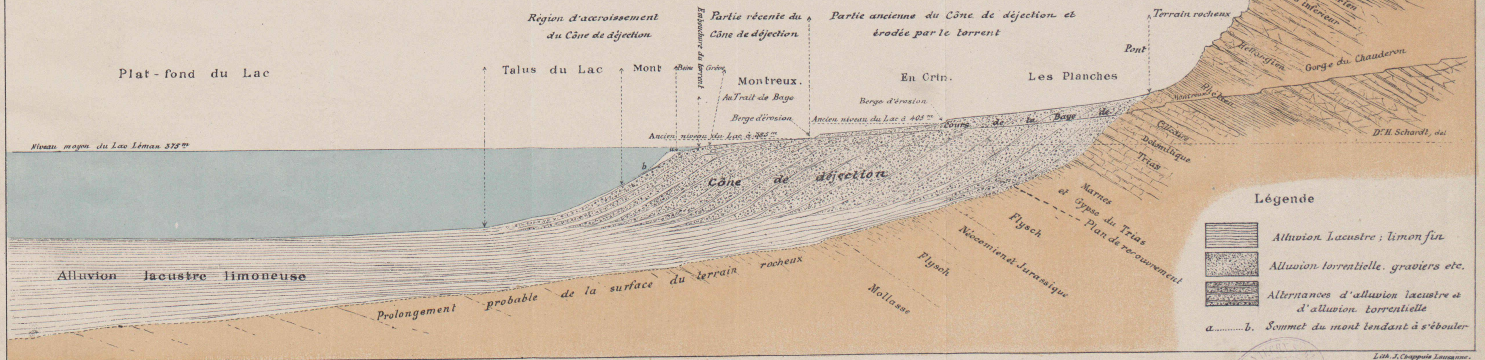
Il n'y a pas lieu de parler ici des rives rocheuses, dont les escarpements se continuent parfois sous l'eau. Il en existe par exemple devant le château de Chillon, à Rivaz en face du grand moulin où l'on mesure plus de 30 m. de profondeur à quelques mètres de la rive. Ici la nomenclature indiquée ne s'applique pas. Il y a cependant des rives rocheuses avec beine et mont, lorsqu'il s'agit de terrains friables, tels que les marnes et grès tendres de la molasse qui alimentent facilement l'érosion ; alors la beine quelquefois est également rocheuse ou bien elle laisse du moins percer au milieu de ses graviers des bancs de terrain solide. Cela se voit en maint endroit entre Vevey et Saint-Saphorin, puis à Treytorrens, Cully, etc.

Eboulements du mont. — Le mont de l'embouchure d'un torrent se trouve dans les mêmes conditions qu'un talus de remblai en construction que des apports successifs tendent à augmenter au fur et à mesure que le matériel se dépose à son bord supérieur où a lieu le déversement. Par suite du charriage continu produit par le torrent, son talus devient plus incliné, la beine gagne en largeur, mais le moment vient où le talus devient trop incliné, l'état de stabilité est dépassé, l'équilibre rompu ; une partie du mont se détache et glisse vers le fond. Les éboulements de mont sont assez fréquents à l'embouchure des torrents à fort charriage. On en signale assez souvent, presque annuellement, à l'embouchure de la Veveyse, mais ils passent bien plus souvent inaperçus ou du moins on n'en parle pas puisqu'ils se produisent sur un terrain vague, la grève récemment formée, que d'ailleurs, ils n'atteignent que rarement ; c'est le *bord de la beine* seulement qui disparaît. Sur les autres parties des cônes de déjection qui s'accroissent plus lentement et le long du littoral ne faisant pas partie d'un delta, les éboulements de mont sont bien plus rares, mais ils sont pour cette raison d'autant plus inattendus et souvent désastreux. La beine s'élargit très lentement, le terrain du mont qui se tasse pendant un temps très long prend de la consistance et son talus peut devenir plus incliné, bien plus que s'il se formait en très peu de temps. La beine devient grève et celle-ci est envahie peu à peu par la culture ; on la protège même contre le choc des vagues par des murs en se fiant à un état de stabilité apparent. Mais le moment doit venir infailliblement où le talus, devenu trop incliné, est forcé de prendre sa pente normale ; une certaine masse de terrains se détache de la tête du mont et glisse vers son pied dans la grande profondeur du lac. Ce n'est pas seulement une partie de la beine, mais parfois aussi une certaine largeur de la grève et même du terrain cultivé qui se perd de cette manière. Des glissements de cette importance sont toutefois fort rares. La nature procède plutôt par degrés. Ce ne sont le plus souvent que des glissements de faible volume qui se détachent de la tête du mont et dans ce cas-là, la partie détachée devient un point de sécurité ; car



PROFIL GÉOLOGIQUE À TRAVERS LE CÔNE DE DÉJECTION DE LA BAYE DE MONTREUX

Echelle 1:5000. Hauteurs et Longueurs.



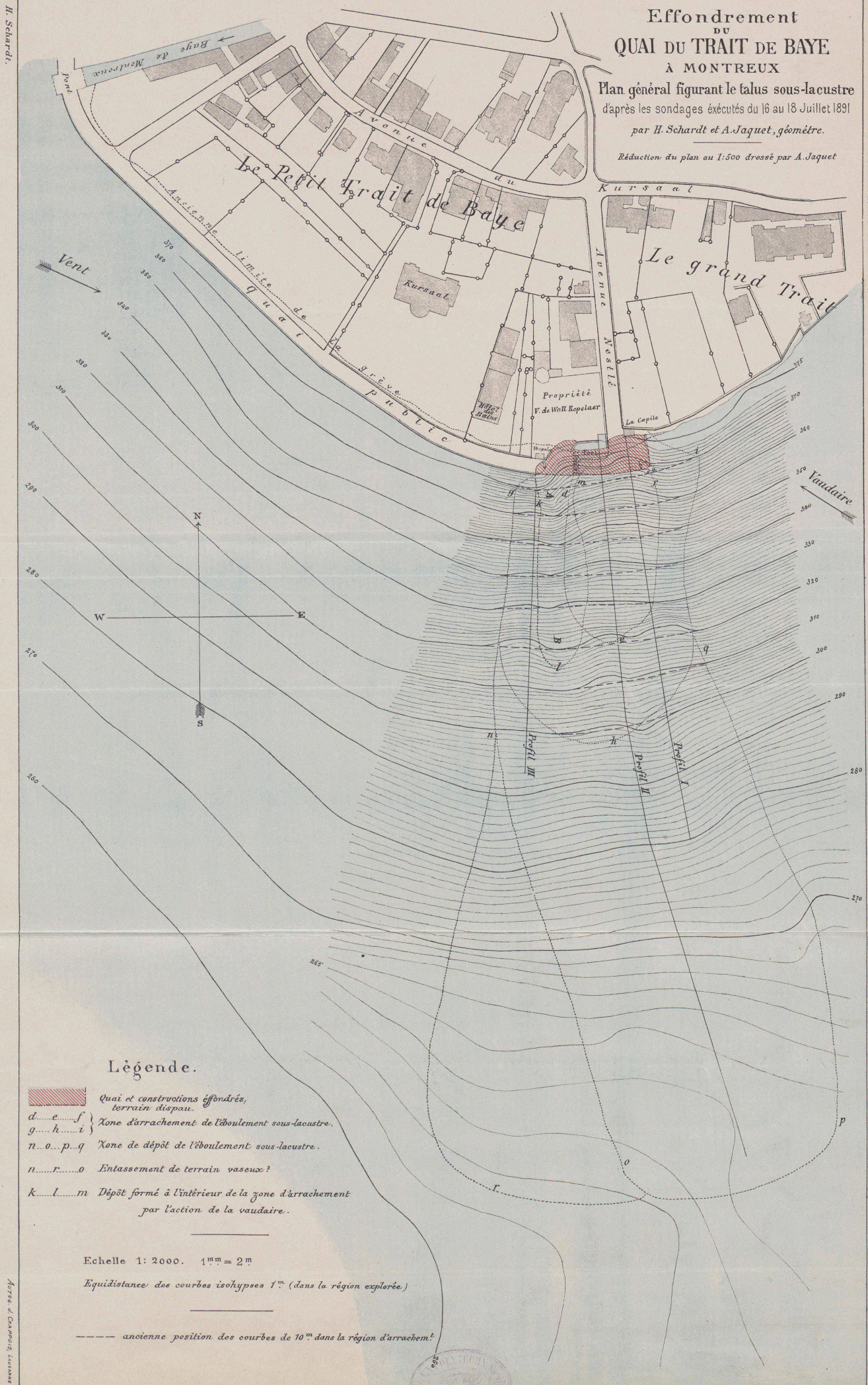
Seite / page

leer / vide /
blank

Effondrement DU QUAI DU TRAIT DE BAYE À MONTREUX

Plan général figurant le talus sous-lacustre
d'après les sondages exécutés du 16 au 18 Juillet 1891
par H. Schardt et A. Jaquet, géomètre.

Réduction du plan au 1:500 dressé par A. Jaquet

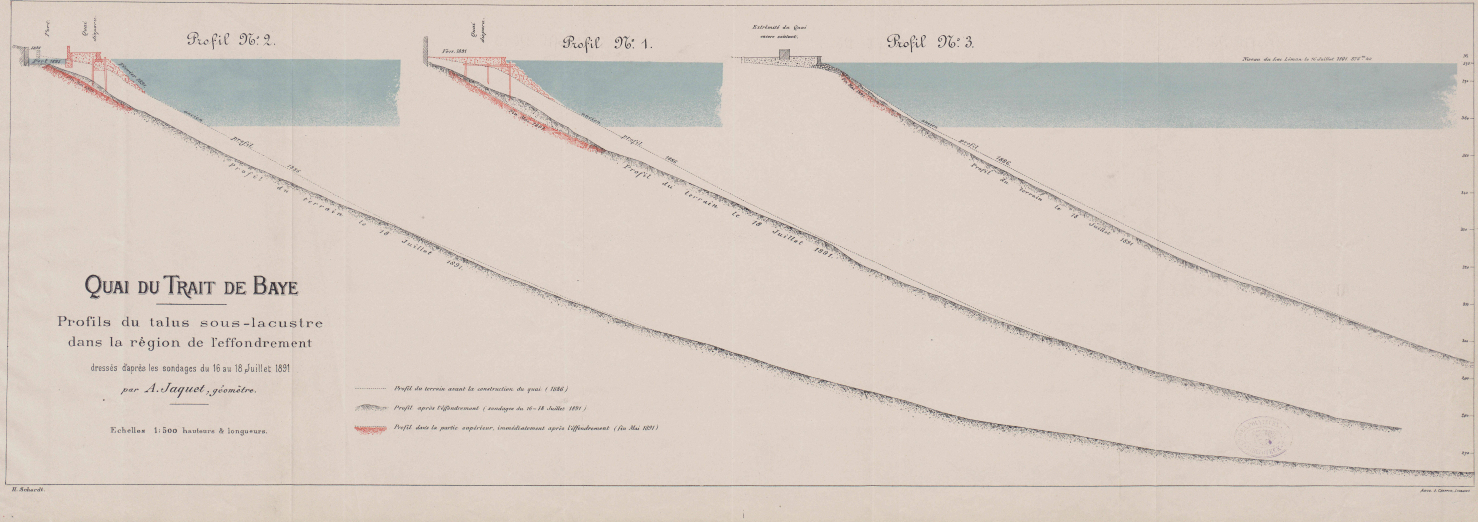


H. Schardt.

Attre & Cappon, Libraires

Seite / page

leer / vide /
blank



Seite / page

leer / vide /
blank

déposée au pied du mont elle diminuera le talus de celui-ci en calant les matériaux qui le composent.

Constructions sur la beine. — Ai-je besoin de dire encore dans quelles conditions on se place lorsqu'on élève une construction sur un terrain récemment gagné sur le lac, que l'on remblaie la beine, encore inondée, par des terres rapportés en les protégeant par un mur et des enrochements contre l'assaut des vagues? La situation est encore plus grave lorsque les enrochements et le mur de protection sont assis précisément au bord extrême de l'ancienne beine, au sommet même du mont, dont nous connaissons l'instabilité dans sa partie supérieure. Il est facile de pressentir l'influence dangereuse exercée par la présence de terrains rapportés et par la surcharge des constructions hors de l'eau. Le poids des matériaux non immergés est en effet plus considérable que celui des terrains plongés dans l'eau. Le poids de 1 m³ de pierre calcaire ou de maçonnerie est à l'air de 2500-2600 kg.; plongé dans l'eau le poids effectif n'est plus que de 1500-1600 kg.

Le cône de déjection de la Baye à Montreux. — La petite carte, au 1/25000 extraite de la carte de l'Etat-major (Pl. 6), permet de se rendre compte des conditions géologiques des rives du Léman entre Vevey et Chillon. On y reconnaît surtout bien la situation des cônes de déjection de la Veveyse d'abord, le plus grand, puis des trois torrents de la Baye de Clarens, de la Baye de Montreux et de la Verraye, le plus petit.

La Baye de Montreux sortant de la gorge du Chauderon a entassé à son embouchure un cône de déjection très régulier. Son sommet, à l'orifice de la gorge, creusée ici dans le calcaire dolomitique triasique, est à 440 m. d'altitude, il s'abaisse de ce point graduellement jusqu'au bord du lac (375 m.) distant de 500-600 m.; son talus moyen est donc de 10-12 ‰.

Mais le torrent de la Baye ne coule plus à la surface de son ancien cône. Le point où il s'échappe de la gorge rocheuse se trouve de 20 m. plus bas que le sommet du cône et cette vallée d'érosion creusée par ce torrent dans son propre cône de déjection se prolonge sur près de 400 m. Ce fait s'explique par l'existence de deux lignes de berges qui se suivent horizontalement autour du cône de déjection, l'une entre 385 et 390 m., l'autre entre 405 et 410 m., indiquant qu'autrefois le niveau du lac était plus élevé de 30-35 m., qu'il s'est abaissé ensuite jusqu'au niveau actuel, en restant stationnaire pendant quelque temps vers 385 m.

Cette partie du cône de déjection de la Baye de Montreux est donc fort ancienne. Le cône récent formé pendant que le niveau du lac s'est maintenu à peu près à l'altitude qu'il occupe actuellement, commence dès 385 m.; il forme autour de l'ancien cône une ceinture dont la largeur est à l'embouchure du torrent d'environ 200 m., ailleurs il a près de 250 m.

Autrefois le torrent pouvait divaguer sur son cône de déjection émergé et se déverser dans toutes les directions. Maintenant qu'il est endigué jusqu'à son embouchure, les matériaux de charriage ne sont projetés dans le lac que près de son embouchure, ce qui n'empêche pas, comme nous l'avons vu, l'accroissement régulier du cône de déjection sur tout son pourtour.

L'endiguement de la partie inférieure du cours de la Baye est postérieur à 1766.

Le profil de la Pl. 6 ne demande que peu d'explications. Il est

destiné à montrer le mode de formation d'un cône de déjection torrentiel. L'accroissement de celui-ci est beaucoup plus important dans la partie immergée que dans la partie émergée. En effet la masse noyée sous l'eau est de beaucoup la plus considérable. Elle se compose de couches alternantes de terrain charrié, graviers, sables grossiers, etc. et d'alluvions lacustres formées de limon très fin.

Lorsqu'on examine les dépôts qui se forment sur le sol sous-lacustre, on trouve à partir de 15-20 m. de profondeur un limon gris, très fin, devenant presque impalpable dans les grandes profondeurs. Ce limon, c'est l'alluvion lacustre, cette matière suspendue dans l'eau trouble des torrents et qui se dépose dans l'eau tranquille du lac, uniformément sur toute la surface du fond autant que sur les talus. Les débris plus grossiers des torrents se déposent comme nous l'avons vu près de la rive en constituant le mont, les éboulements réguliers de celui-ci permettent aux matériaux plus grossiers de glisser de temps en temps sur le talus sous-lacustre jusque dans les grandes profondeurs recouvrant la couche d'alluvion lacustre. C'est ainsi que s'accroissent les cônes de déjection sous-lacustres, par dépôts alternant de graviers et sables charriés et d'alluvions lacustres. Près de la surface l'alluvion lacustre ne se dépose pas, à cause de l'action des vagues et probablement aussi parce que les masses de graviers glissant dans la profondeur l'entraînent avec elles. On ne trouve en effet dans la partie supérieure du cône immergé et dans le cône émergé que des graviers de tout volume et quelquefois des couches de sable assez grossier, mais pas trace de ce limon fin de l'alluvion lacustre. Le cône émergé se distingue donc nettement par sa composition de la partie immergée formée à plus de 15 ou 20 m. de profondeur.

Une autre différence réside dans le talus superficiel. Le cône émergé se produit par le charriage torrentiel. Les matériaux ne se meuvent pas seulement sous l'action de leur propre poids comme dans la formation des éboulis, mais l'eau parvient à déplacer les graviers sur des talus inclinés de 10-15° à peine; le long de la rive l'action des vagues conduit à un effet analogue d'où résulte la beine.

Dans la partie sous-lacustre les vagues n'agissent plus, les courants produit par les vents et les différences de température sont trop faibles pour avoir une action sur les alluvions déposés et celles-ci ne croulent vers la profondeur qu'au fur et à mesure que leur talus augmente et devient instable. C'est donc par le dépôt d'alluvions lacustres, mais surtout par les éboulements successifs du mont que s'accroissent les cônes de déjection sous-lacustres. Comme ces glissements n'ont lieu que localement et jamais en même temps sur tout le pourtour d'un cône, les couches d'alluvion lacustre et torrentielle se succèdent irrégulièrement, s'enchevêtrant horizontalement et verticalement. Le dessin Pl. 6 représente une alternance régulière en apparence, qui n'existe pas dans la réalité, mais il le fallut ainsi pour la démonstration de notre théorie.

Stabilité des talus sous-lacustres. — Les alluvions formant les talus sous-lacustres offrent des inclinaisons très variées. Au sommet du mont on mesure parfois 30-35°, même 40° qui est le maximum. On peut admettre qu'un talus de 30° (50 ‰) est à peu près stable, que de lui-même il ne tend pas à se modifier, qu'il peut même supporter une certaine

surcharge, autant du moins qu'il est composé d'un terrain graveleux et non plastique ou limoneux. Les limons, argiles et sables argileux demandent pour être stables des talus moins inclinés. On observe toutefois, même sur les talus très inclinés du mont, de l'alluvion lacustre limoneuse, mais ce n'est sans doute qu'une épaisseur assez faible. Déposée en grande épaisseur sur un talus trop incliné cette alluvion doit glisser, sous l'action de la pesanteur, vers le fond. Sous la pression d'une surcharge même modérée elle subit un véritable écrasement et cède latéralement; le talus extérieur n'entre pas nécessairement en jeu. On a eu des preuves de cette propriété dans l'effondrement du nouveau quai et de tout un quartier de la ville de Zoug en 1887. Une couche de vase limoneuse *inférieure* aux graviers et terrains rapportés sur lesquels on avait construit, a cédé à la pression de ceux-ci, en *coulant* à l'état *semi-fluide* au large, entraînant les pilotis qui y étaient fichés. Les constructions s'enfoncèrent presque verticalement de 6 à 10 m. Aussi près de Horgen sur le bord du lac de Zurich eurent lieu des glissements analogues lors de la construction de la ligne du N.-E.

L'abaissement des eaux cause des glissements. — Puisque les entassements de terrains sur la berge immergée peuvent être la cause de l'écroulement de celle-ci, il est évident que l'abaissement du niveau d'un lac équivaut à une augmentation de terrains émergés en surcharge. Cela explique les nombreux glissements de grève qui se sont produits sur les lacs de Neuchâtel et de Bienne, lors de l'abaissement des eaux de ces lacs, abaissement qui a été d'environ 4 m. Le même fait a été observé en plus petit au lac de Bret. Les terrains enfoncés étaient, suivant les cas, des dépôts sablonneux, graveleux ou limoneux; mais le sol vaseux et le dépôt blanc connu sous le nom de *craie lacustre* sont parmi tous les plus sujets aux glissements subséquents aux abaissements du niveau des eaux.

I. Les quais du littoral de Montreux.

Il n'y a pas plus de 30 ans qu'on a commencé la construction des quais et des terrasses sur les bords du lac dans la région de Montreux. Antérieurement à cette époque il y avait une grève large de 5 à 15 mètres entre les terres utilisées et le niveau moyen des eaux. Ce n'est qu'à l'époque des hautes eaux — la régularisation du niveau du lac n'était pas encore un fait accompli — que le lac venait baigner les murs protecteurs bordant les cultures; ailleurs, même ces murs faisaient défaut et la grève inculte n'était que d'autant plus large.

Qu'est-ce qu'un quai? L'établissement d'un quai ou d'une terrasse a pour but de rendre utilisable, soit comme terre de culture, soit comme voie de passage, la grève improductive. La grève disparaît et l'eau baigne en permanence le pied des murs de ces constructions. Il n'y aurait en effet rien de plus disgracieux que de laisser subsister, devant un mur de quai, une grève découverte, où s'amassent des débris et des immondices sans nombre.

La grève a sa raison d'être dans le régime d'un lac. — Si la grève n'a pas d'utilité directe et peut être, sans inconvénient semble-t-il, soustraite au domaine du lac, elle a cependant bel et bien sa raison d'être dans le régime des eaux. C'est sur la grève

que viennent se briser les efforts des vagues en retournant mille et mille fois les galets qui la recouvrent; plus la grève est large, plus il y a de sécurité pour les terrains situés à l'intérieur. Si donc nous supprimons la grève, en y établissant une terrasse, il n'y a plus rien qui ralentisse le mouvement des vagues avant qu'elles rencontrent la terre c'est-à-dire le mur de la terrasse. Ce sera contre cette construction que les lames viendront se heurter avec une violence d'autant plus grande. Bien plus, la beine, soit la grève immergée subit le contre-coup de la suppression de la grève émergée. Elle est elle-même érodée par le choc des vagues, et si elle n'est pas assez large, ou si la construction n'est pas fondée assez profondément et protégée par de larges enrochements, il peut se produire un affouillement tel, que les vagues finissent par renverser l'obstacle, en rétablissant une nouvelle grève; le lac tend à reprendre ce qui lui a été arraché!

Après la grève on prend encore la beine. — Le mal ne serait pas bien grave, si dans la construction des quais et terrasses, on se contentait de supprimer la grève seulement, en laissant au lac une certaine largeur de bas-fond, une beine suffisamment large pour amortir, en partie du moins, le choc des vagues et pour empêcher, par son talus peu incliné, le glissement des matériaux rapportés. Mais non content de prendre au lac la grève, on lui prend encore la beine, en venant asseoir les murs protecteurs sur des enrochements placés, à 4 et 6 mètres d'eau, au bord même de l'abîme. Ce cas est bien plus fréquent qu'on ne le pense. Pour construire dans des conditions pareilles, il faut des précautions toutes spéciales. Il n'est pas impossible d'arriver à une stabilité suffisante, à une solidité pouvant résister aux plus forts assauts des vagues, mais il faut que la construction soit en tous points conforme aux conditions dans lesquelles se trouve le terrain sur lequel elle est placée. Et finalement, il se trouve des cas, où, malgré tout, le terrain doit céder avec tout ce qui est au-dessus. Ce cas est celui où le talus du « mont » est trop incliné pour se maintenir en équilibre.

La construction des quais et terrasses à Montreux. — Un des premiers quais construits à Montreux est celui de Clarens, il date de 1870. Presque à la même époque et même antérieurement, on a établi la terrasse de l'hôtel Roy, celle de l'hôtel Monney, de plusieurs hôtels autour du golfe de Bon-Port. C'est dans le cours de ces derniers dix ans que plusieurs grands travaux de ce genre ont été faits. Les terrasses très larges, entièrement prises sur le lac, de chaque côté du port de Territet, puis la terrasse de l'hôtel du Cygne, celle du Kursaal et enfin le grand quai de Montreux au Petit Trait de Baye, devant, d'après le projet, être prolongé, par la suite, jusqu'à Territet.

Ce quai a été commencé en 1886, d'après un plan d'ensemble approuvé par les communes intéressées. Mais la construction a été faite soit par les communes, soit par les particuliers, sous le contrôle des autorités communales. La construction de toute la longueur de ce beau quai a duré jusqu'en 1891 et comprend une longueur totale d'environ 850 m. un pont en fer relie les deux sections de part et d'autre de la Baye de Montreux.

Système de construction. — Le système de construction des murs de quais qui a cours à Montreux consiste à jeter d'abord des enrochements; ou bien, lorsque l'inclinaison du talus fait craindre des glissements, à fonder une série de pilotis

à 1, 2 ou 3 mètres en avant de la ligne de construction et de jeter en amont de ces pieux des enrochements, jusque près du niveau de l'eau. C'est sur ces enrochements que vient se placer le mur, assis lui-même sur un lit de béton, coulé entre palplanches, sur ou entre l'enrochement disposé en conséquence. Toutefois cette méthode n'est pas de règle absolue.

On le voit, le pilotage a pour but de consolider les enrochements qui doivent servir de brise-lames et prévenir l'affouillement de la base du mur. Pour être efficaces les pilotis ne doivent pas être trop près du mur afin de laisser de la place en suffisance pour un large enrochement. Leur but ne doit pas être de soutenir les enrochements, mais d'en empêcher le déplacement parallèlement au talus sous-lacustre. C'est suivant ce système avec ou sans pilotis qu'a été construit le quai de Clarens et celui de Montreux, entre la Rouvenaz et la Baye de Montreux et entre celle-ci et le Trait de Baye. L'extrémité de celui-ci, qui a disparu par l'accident du 19 mai, a cependant été construit différemment; on sentait la nécessité de construire avec plus de précaution, vu les mauvaises allures du sol et la déclivité énorme du talus sous-lacustre.

II. Situation du quai de Montreux.

Depuis le débarcadère de la Rouvenaz jusqu'au Trait de Baye (Avenue Nestlé) le nouveau quai contourne la partie prédominante dans le lac du cône de déjection de la Baye de Montreux; ce dernier sera complètement enfermé une fois que le quai aura été prolongé jusque devant l'hôtel Beau-Rivage.

Nature du sol. — Le sous-sol dans toute cette partie du littoral se compose exclusivement de graviers de tout volume, parmi lesquels on ne remarque que localement des amas de sable assez grossier. Il n'est pas rare, par contre, de trouver, au milieu des galets plus petits, des pierres pouvant atteindre 30 à 50 cm. de diamètre et même plus. Ce sont bien là les caractères d'un cône de déjection formé par un torrent au cours rapide, comme l'est la Baye de Montreux. Chaque fois que l'on fait des fouilles pour les fondations de bâtiments, on met à découvert ce terrain. Tout récemment les fouilles pour la villa de M. de Repelaer ont démontré l'existence de ce même terrain graveleux à gros galets dans le voisinage immédiat du lac. Au-dessous d'une première couche de graviers de 3-4 m. d'épaisseur s'est montrée une couche de sable jaunâtre de 50 cm., offrant une stratification inclinée vers le lac de 15-20°. C'est dans cette couche que s'arrêtait la fouille pour la villa. Mais un sondage pratiqué jusqu'au niveau de l'eau a montré que les graviers se retrouvaient plus bas comme au-dessus du sable, avec des allures absolument identiques. On peut donc conclure que sur toute l'étendue du nouveau quai, le sol est formé de dépôts de graviers charriés et ayant les caractères qu'on vient de lire.

Ces graviers doivent avoir une très grande épaisseur à en juger d'après la grande distance à laquelle se trouvent les affleurements rocheux; le sol rocheux ne peut guère se trouver à moins de 100 à 150 m. au-dessous de la surface (voir le profil pl. 6.)

Il est vrai qu'on rencontre souvent des bancs très consis-

tants au milieu des graviers de la rive. On nomme ce terrain « corniole » ou « jus-blanc » (*sic*). Il se compose de graviers, comme tout ce qui l'entoure, mais qui ont été agglutinés par des infiltrations de sources calcaires; cette « corniole » est donc un poudingue récent. On a trouvé ces bancs de poudingue récent à la Rouvenaz et dans la région de Bon-Port; ici, sa formation s'explique par l'existence de la source tuffeuse de l'Eglise, dont les eaux se jetaient autrefois librement dans le lac et pouvaient s'infiltrer en partie dans les graviers de la grève. La région entre l'Eglise et Bon-Port s'appelle encore maintenant « En Tovère dessous l'Eglise; » Tovère est synonyme de tuffière.

Déclivité du talus sous-lacustre entre la Baye de Montreux et Bon-Port. — Dans presque toute sa longueur ce nouveau quai a empiété sur le lac. Il a absorbé non seulement la grève, mais encore le bas-fond de la beine, en sorte que les enrochements du mur extérieur sont dans bien des cas juste au sommet du talus rapide du mont.

Lors de l'élaboration du projet en 1885, des sondages furent faits par M. Aubert, géomètre, jusqu'à environ 25-30 m. de la rive d'alors; ils accusèrent aux points extrêmes dans bien des cas des profondeurs de 10-15 m. Les profils construits d'après les sondages montrent la déclivité du sol lacustre à partir de l'embouchure de la Baye jusqu'au Grand Trait de Baye (Beau-Rivage). Le quai projeté devait se construire presque entièrement sur la *beine*.

Les profils compris entre l'embouchure de la Baye et le Kursaal, accusent en avant du quai des talus variant entre 23 et 30 %. L'influence du charriage du torrent est ici très sensible. Les vagues soulevées par le vent du S-O transportaient autrefois les graviers de la Baye jusque vers le Grand Trait (Avenue Nestlé), comme les vagues de la vaudaire les font rouler le long de la rive jusqu'à la Rouvenaz (aux anciennes cibles du tir).

Devant la terrasse du Kursaal il y a une irrégularité frappante; entre deux points où le talus est de 24 et de 22 %, il y a un endroit avec 48 %, comme s'il existait là un ravin; toutefois je n'ai pas connaissance d'un glissement sur ce point.

C'est à partir du Kursaal vers l'est que la situation commence à devenir plus inquiétante, même critique. Devant l'ancienne construction Rivaz (Henriette) le talus droit devant l'enrochement du quai est de 56 % pour retomber un peu plus loin (profil 10) à 37 %, partie limitrophe entre les propriétés Weber et de Repelaer. Mais c'est au droit de cette dernière propriété que se trouve le plus fort talus, il est de 100 % au pied du dépôt d'enrochement et celui-ci est placé lui-même en partie sur un talus de 46 %.

Devant l'avenue Nestlé la situation était non moins défavorable. Le talus moyen qui supporte mur et enrochement, est de 55 %; au bas de l'enrochement, il arrive même à dépasser 60 %. A l'angle du quai effondré, là où s'arrêtait la construction en 1890, le talus sous-lacustre était encore de 60 %. Dès ce point jusque devant la terrasse de l'hôtel Beau-Rivage, les sondages de 1885 prévoient des talus sous-lacustres de 55 à 70 %, le mur extérieur étant toujours assis juste au sommet de ces talus et le quai lui-même sur la *beine*. Cette partie du projet n'a pas été exécutée jusqu'à présent.

Système de construction. — Dès l'embouchure de la Baye

jusqu'à la limite de la propriété de Repelaer, le mur extérieur du quai a été construit selon le procédé habituel déjà décrit ; même le pilotage devant les enrochements ne paraît pas avoir été jugé nécessaire pour cette longueur, autant que j'ai pu m'en rendre compte. En effet des talus de 22-30 % peuvent supporter des enrochements sans consolidation par pilotis.

Les inquiétudes que devaient faire naître la forte déclivité devant la propriété de Repelaer et l'Avenue Nestlé, ont fait employer une autre méthode de construction. On y a mis en pratique trois méthodes différentes :

Construction du quai effondré. — a) Dans la partie occidentale, dès la limite de la propriété Weber jusqu'au goulet conduisant au port de M. de Repelaer (25 m.), le mur a été fondé sur béton et un grillage en bois reposant sur les enrochements. Il fut de plus amarré, au moyen de tirants, à des pilotis fichés dans le terrain en apparence solide de l'ancienne grève. On voit encore maintenant deux de ces pilotis d'amarrage, les tirants ayant été arrachés lors de l'accident.

b) La partie du quai au droit de la propriété de M. de Repelaer, dès le goulet jusqu'à l'Avenue Nestlé (20 m.), a été construite de la manière suivante :

Après avoir jeté des enrochements extérieurs, on planta deux rangées de pilotis, non en quinconces, mais opposés les uns aux autres. Le sol entre les deux rangs de pilotis fut ensuite dragué et on plaça des palplanches entre les rangs de pilotis de manière à former des caissons qui furent ensuite comblés de béton. Sur ce lit de béton de 1^m50 à 3 m. d'épaisseur et même plus, fut enfin fondé au niveau des basses eaux, le mur du quai. Ce mur était donc entre les pilotis et non dessus, sauf sur un point, où les pilotis avaient été mal alignés. Les pilotis étaient du reste réunis ensemble par des longrines moisées et celles-ci en outre amarrées au moyen de tirants et de fers en S au mur intérieur du quai. Le mur extérieur du quai entre le goulet du port à l'Avenue Nestlé ne formait ainsi qu'une pièce, grâce au bloc de béton sur lequel il était assis. Protégé encore par les deux rangées de pilotis il semblait à l'abri de tout danger. C'est derrière cette section que se trouvait le petit port, long de 20 m., large de 10 m., ayant une profondeur de 2^m50 à 3 m.

c) La partie du quai au droit de l'Avenue Nestlé et à l'orient de celle-ci jusqu'à l'angle (24 m.) a été construite un peu différemment. Une rangée extérieure de pilotis fut plantée à 1 m. à 1^m50 de distance du mur à construire, puis on jeta des enrochements devant et autour de ces pilotis qui furent réunis par des longrines. Leur distance était de 1^m50 à 1^m80. Cette rangée extérieure de pilotis fut reliée au moyen de moises à des pilotis plantés à 8 m. en arrière dans l'ancienne grève. Le massif de béton épais de 50 cm. fut coulé à la surface de l'enrochement.

La section c formant l'angle oriental a été construite la première par un autre entrepreneur que celui qui a bâti les sections a et b.

Les pilotis employés avaient 7-12 m. de longueur, leur épaisseur atteinte pour quelques-uns 40 cm. Le mouton employé avait 800-1000 kg. Sauf les pilotis des ancrages, la section a a été construite sans pilotis, la section b en a exigé près de 60, dans la section c, on en a planté 29 y compris les ancrages. On voit quel grand nombre de pilotis ont été enfoncés dans cette partie du rivage.

Il a été impossible de se rendre compte exactement de la longueur de fiche des pilotis, faute de journal de pilotage. Il a fallu se contenter d'examiner les pilotis revenus à la surface de l'eau après l'accident et dont on avait tiré une quarantaine sur la grève.

D'après le terrain adhérent aux parties de fer et incrusté dans la croûte d'oxyde, on pouvait conclure que tout le sol traversé par les pilotis était graveleux. La longueur de fiche dans le sol pouvaient se voir à la différence de couleur du bois. Il n'y avait aucun pilotis sur lequel j'aie mesuré plus de 5 m. de fiche, bon nombre en avaient moins. Je dois avouer toutefois que je n'ai pas vu tous les pilotis, un certain nombre avaient été enlevés, d'autres ne sont peut-être pas revenus à la surface, retenus au béton et à la maçonnerie par les moises et les ancrages, enfin un petit nombre d'entre eux se sont maintenus en place sous les quelques pans de mur non écroulés. On indique pour les pilotis de la rangée extérieure 7 à 9 m. de fiche.

Craintes. — Le mode de construction employé, les ancrages des pilotis extérieurs à des pilotis fichés à l'intérieur du quai, sont des indices qu'on avait des craintes au sujet de la stabilité du sol, partant de la construction. Déjà pendant la construction du quai des enrochements jetés devant les pilotis avaient glissé dans la profondeur. On peut s'expliquer facilement ce fait, puisque c'est au sommet même du talus du « mont » que les pierres furent déposées et ce talus avait ici 70-100 % d'inclinaison. Ces circonstances étaient certes de nature à faire naître des craintes.

III. L'accident du 19 mai 1891.

(Voir pl. 7.)

Le Trait de Baye. — Le Trait de Baye se divise en deux parties, le Grand Trait, entre la Baye de Montreux et l'Avenue Nestlé et le Petit Trait, à l'orient de ce chemin jusqu'à Bon-Port. L'Avenue Nestlé, qui sépare le Grand et le Petit Trait, portait, avant son élargissement en vue du quai, le nom de chemin de la Capite. Ce chemin est très ancien, il existe déjà sur un plan de 1696, et sur celui de 1766 il porte le nom de chemin de la Guérite, d'après la petite maisonnette qui existe encore au bord du lac.

C'est droit en face de l'Avenue Nestlé que l'effondrement s'est produit, se développant à droite et à gauche. Il a fait disparaître, à partir de l'angle est, tout le quai, des petites constructions, etc. sur une longueur de 72 m.

Signes précurseurs de l'effondrement. — A part les craintes vagues, datant déjà de la construction du quai, rien ne faisait prévoir sa disparition si subite. Depuis son achèvement, les esprits s'étaient parfaitement calmés. Les chaudières et lourdes pièces des bains de M. Weber avaient passé sur le quai sans produire aucun mouvement. On avait bien constaté quelques petites fissures de quelques millimètres, dans les murailles déjà avant l'achèvement du quai, mais cela ne pouvait guère être interprété comme indice précurseur d'une catastrophe ; il s'en produit presque dans toute construction de ce genre.

Environ une semaine avant l'écroulement quelques personnes voyant monter des bulles d'air dans l'eau du port en arrière du quai, crurent voir dans ce phénomène un signe d'un prochain écroulement, toutefois, il n'y a là rien de bien net.

Ce n'est qu'environ une demi-heure avant l'accident que deux personnes passant sur le quai, en venant par l'Avenue Nestlé, remarquèrent une différence de niveau d'environ 30 cm. entre le bord supérieur du quai et le terrain plus en arrière du mur. Le terrain paraissait s'être enfoncé.

L'accident. — Le jour du 19 mai 1891 a succédé à un temps calme et clair (on sait et on se souviendra pendant longtemps qu'il a gelé le 18 mai au matin) par une violente bourrasque de vaudaire, chassant, ce qui est rare, une pluie abondante. Les bateaux à vapeur devant amener à Montreux plusieurs milliers de visiteurs, professeurs, autorités, étudiants, tous participants aux fêtes universitaires, étaient attendus avec impatience. Le quai était couvert de curieux, malgré le mauvais temps.

A peine tout le monde fut-il débarqué, que dans les divers hôtels les festins s'organisèrent, que l'élite des invités commençait au Kursaal un somptueux banquet, lorsque à deux pas de là le nouveau quai disparut presque sans bruit dans les flots ! Comment du reste un bruit aurait-il pu être entendu ? La vaudaire, plus forte que jamais, faisait rage ; la pluie fouettait les vitres. Grâce à cette circonstance le quai était presque désert, il est même très peu de personnes qui aient assisté d'assez près à l'accident pour en faire un récit complet. Quelques jeunes gens de la fanfare du Collège se trouvèrent seuls sur l'emplacement même. L'un d'eux put même passer encore du quai à l'Avenue Nestlé, alors que le mur extérieur rompu faisait voir une large brèche par laquelle l'eau du lac envahissait le terrain. Puis quelques membres du corps de sauvetage, faisant la police de la place, et un petit nombre d'autres personnes, ayant vu l'accident de plus ou moins loin, sont arrivées sur les lieux vers la fin de l'événement ; ce sont les seuls témoins oculaires que nous possédons. Disons cependant que c'est plutôt heureux, car par un jour de beau temps, par un temps clair et par un vent tout aussi violent, le quai aurait été couvert de curieux et il n'est pas à douter que l'accident ne se serait pas borné à des pertes purement matérielles.

A part le quai public, c'est la campagne de M. van de Wall Repelaer qui a eu le plus à souffrir : M. de Repelaer avait construit à l'intérieur du quai un petit port, occupant environ la moitié de la largeur de sa propriété ; de chaque côté de celle-ci s'élevait une pergola, petits pavillons en colonnades de pierre taillée et couverts de fer, devant se garnir de plantes grimpanes. La pergola orientale était sur le port même, supportée par une plate-forme en fer et ciment. Enfin, en arrière, au milieu d'un jardin, devait s'élever plus tard une élégante villa. Un goulet, large de 3 m., passant sous le quai, faisait communiquer le port avec le lac. Le port avait été dragué antérieurement d'environ 2^m5 à 3 m. La place qu'il occupait était en partie prise sur la grève. Un mur très élevé séparait ce port et la propriété de l'Avenue Nestlé.

D'après les dépositions de témoins oculaires l'écroulement dans les parties visibles doit s'être produit comme suit :

Vers 2 h. 20 m. un affaissement du sol se produisit devant l'Avenue Nestlé, le mur du quai s'abattit dans le lac, juste en face du grand mur bordant la propriété de Repelaer du côté de l'Avenue, soit exactement sur la ligne de jonction des deux parties du quai construites successivement. On a vu en ce mo-

ment des arbres glisser dans le lac. La brèche s'élargit rapidement, mais pas assez vite pour empêcher un jeune homme de passer encore sur l'étroite corniche subsistante le long du mur intérieur du quai et d'atteindre l'Avenue Nestlé. Le quai s'effondra à gauche et à droite de cette première brèche et l'éboulement atteignit finalement l'angle oriental qui disparaissait. Bientôt c'est le tour du mur intérieur protégeant le port ; la pergola orientale avec son plancher en fer et en béton s'effondra, le port est à découvert. Mais l'écroulement ne s'arrête pas au goulet du port, la partie au delà non pilotée mais assise sur longrines, est entraînée et disparaît ; toute la terre rapportée et une partie de l'ancienne grève, un jardin existant depuis plusieurs années sont à leur tour envahis par l'eau du lac.

Tout l'événement n'a pas duré une demi-heure. Le batelier Gaillard eut juste le temps de retirer les bateaux du port, avant la chute des pièces de fer de la plate-forme.

Dans la nuit, ainsi que le lendemain et le surlendemain, l'érosion succédant à l'effondrement a encore fait disparaître beaucoup de terrain et fait tomber quelques parties de mur, jusqu'à ce que des enrochements, jetés en toute hâte, aient mis fin à l'action des vagues.

Dans le cours de cet effondrement et des érosions qui l'ont suivi, il a disparu :

1^o Le quai public, large de 8 m., sur une longueur de 72 m. dès l'angle E. jusqu'à quelques mètres de la limite de la propriété C. Weber.

2^o Dans la partie occidentale de la propriété de Repelaer une largeur de terrain de 8 à 9 m. Dans la partie orientale de cette propriété, la moitié environ du fond du port, le mur intérieur de celui-ci n'a pas cédé, de même une partie du fond est restée intacte ; on pouvait voir après l'accident des plantes aquatiques dites « Favards » (*Potamogeton*) enracinées encore sur le fond de l'ancien port.

3^o Devant l'Avenue Nestlé et la petite maisonnette, le terrain a disparu sur 15 à 20 m. à l'intérieur du quai ; le lendemain de l'accident l'eau baignait le pied de la dite maisonnette.

Il a été perdu en tout une surface d'environ 1000 m² de constructions et de terrain. A part le terrain rapporté, il a été enlevé une certaine largeur de l'ancienne grève et de terrain cultivé, soit environ un quart ou un cinquième de la surface totale. Les pilotis entraînés dans l'écroulement revinrent à la surface à 150 à 200 m. de la rive, d'où la vaudaire eut bientôt fait d'en ramener un certain nombre vers la rive.

Le récit de la marche de l'effondrement, qui précède, a été reconstitué d'après les indications d'une vingtaine de témoins qui tous n'avaient vu qu'une partie des événements. M^{me} Birbaum habitant la petite maisonnette au bout de l'Avenue Nestlé, n'a pas pu voir en détail ce qui se passait au delà du grand mur de séparation ; tandis que MM. Gaillard père et fils, bateliers, habitant la propriété de Repelaer, ne pouvaient de leur côté pas voir le quai à l'est de ce mur. Toutes ces personnes étaient du reste occupées à sauver leur bien et ne pouvaient guère faire des observations attentives.

C'est M. Chessex, David, habitant « En Baume, » sous Glion, qui a le mieux pu voir l'ensemble des événements. Il se trouvait devant sa maison et venait de voir débarquer les bateaux à vapeur. Il pouvait donc tout observer presque à vol d'oiseau, sans se perdre dans des points de détails. C'est d'après son

récit que nous avons dépeint la marche de l'accident, en le complétant par les détails, par le dire d'autres témoins qui s'étaient trouvés sur les lieux mêmes.

Nature du mouvement. — On ne voit sur le lieu de l'accident que peu de grands débris dans l'eau sauf ceux tombés en dernier lieu. Sur l'emplacement même du quai il existe des profondeurs d'eau allant à 10 m. Cela montre que ce n'est pas seulement la construction et le terrain rapporté artificiellement qui ont disparu, mais le mouvement s'est étendu sur une épaisseur considérable du sol sous-lacustre, qui a entraîné avec lui, vers la profondeur du lac, murs, enrochements et pilotis. Cela ressort clairement de la circonstance que les pilotis sont revenus à la surface à 150-200 m. de la rive. Le terrain et les constructions se sont détachés ensemble presque d'une seule fois ou bien par grandes fractions, en ne se désagrégeant que dans le cours de l'éboulement sous-lacustre après quoi les pilotis devenus libres revinrent à la surface.

Des sondages faits peu de jours après l'accident par M. Franel architecte chez M. Boulénaz, accusent le long de la ligne extérieure du quai disparu des profondeurs d'eau de 5-10 m. La plus grande profondeur de 10 m. se trouvait au droit du port de M. de Repelaer.

Le glissement a donc entraîné une partie du sol préexistant par places sur plusieurs mètres au delà de la profondeur de fiche des pilotis; en un mot c'est un éboulement de mont, dont il importait de connaître exactement l'étendue et les causes.

IV. Recherches sur l'étendue et les causes de l'effondrement.

Etant donné les constatations qui précèdent, il fallait entreprendre des recherches pour se renseigner sur la nature du terrain de la grève éboulée et sur la configuration du talus et du fond sous-lacustre.

Nature du terrain. — Les fouilles faites occasionnellement, lors de la fondation de bâtiments, forage de puits d'ascenseurs et d'autres travaux et sur lesquels j'ai toujours eu soin de me renseigner depuis nombre d'années, pouvaient d'emblée me faire supposer un sol graveleux. Je désirais néanmoins être mieux renseigné. J'ai tenté de faire un essai de sondage avec une sonde à tarière, mise obligeamment à ma disposition par M. le chef du Département des travaux publics. Cet instrument s'est trouvé être trop léger pour un sol graveleux. Il eût fallu recourir à l'emploi du trépan et tuber le trou de sonde, ce qui eût entraîné des frais absolument hors proportion avec l'importance du renseignement cherché. Force fut donc de se contenter d'un sondage à la pioche pratiqué jusqu'au niveau de l'eau souterraine, dans la fouille creusée déjà pour la villa de Repelaer. Le sol était dans la profondeur comme à la surface composé de graviers de tout volume avec une seule couche de sable de 0^m50 à 1^m50 au-dessus de l'eau.

Les renseignements que nous possédons sont suffisants, je le crois, pour affirmer que la grève et le talus sous-lacustre se composent, jusqu'à une grande profondeur sous la surface, exclusivement de graviers charriés par le torrent de la Baye, interrompus localement par de faibles couches de sable. Ces graviers sont en général pêle-mêle; mais on observe une tendance de stratification inclinée de 15 à 20° vers le lac.

Malgré le désir d'être renseigné d'une manière plus positive, je n'ai pas cru devoir faire des recherches plus spéciales sur la nature du sol. Du reste les sondages faits ensuite dans le lac ont donné pleinement raison à cette manière de voir.

Configuration du talus et du fond du lac devant le quai effondré. — Il fallait en second lieu déterminer le plus exactement possible la configuration du talus sous-lacustre et du fond du lac devant le quai effondré et se renseigner autant que possible sur la nature des terrains dans toute cette région.

J'ai fait construire dans ce but un petit appareil de sondage composé d'un treuil sur lequel s'enroulait un fil d'acier de 0,9 mm. d'épaisseur. Ce fil passe sur une poulie en fer ayant au fond de la gorge juste 1 m. de circonférence et qui met en mouvement par une vis sans fin une roue dentée ayant 100 dents. Cette roue porte un cadran avec 100 divisions; chaque division correspond donc à 1 tour de la poulie, soit à 1 m. de fil déroulé. Au bout du fil est fixé un poids de 4 kg. portant à son extrémité un petit cylindre de fer-blanc avec clapet s'ouvrant de bas en haut.

En descendant le poids au fond du lac, le compte-tours indique sans autre le nombre de mètres du fil dévidé, soit la profondeur du point qui se trouve verticalement au-dessous du bateau. Il est facile de sentir le moment où le poids touche le fond grâce à la construction très simple et légère de l'appareil; j'ai donc pu me passer d'adapter au compte-tours un appareil de déclanchement.

A ce moment on donne sur le bateau un signal et le point exact du sondage est levé simultanément par deux arpenteurs pointant avec alidade et planchette. En superposant les deux directions, on obtient avec une grande exactitude la position du point visé. Les plus grandes précautions ont été prises pour maintenir le bateau immobile pendant l'opération. On aurait aussi pu se servir d'une lunette à stadia indiquant directement la distance; le procédé employé est du reste plus exact et je n'avais pas de stadia à disposition.

A chaque coup de sonde le cylindre à clapet placé sous le plomb prenait un échantillon de terrain formant le fond touché, en se remplissant de limon ou de sable; comme il n'est pas possible de prendre de cette manière des graviers, j'en ai dragué sur plusieurs points en traînant un seau sur le fond du lac. Le cylindre à clapet en remontant vide apportait déjà un indice que le fond était formé de graviers, mais la preuve évidente était encore fournie par les déformations et des éraillures qu'il subissait par les chocs sur le sol graveleux, plus d'une fois des débris pénétrèrent au-dessus du clapet.

Cette détermination de la nature du fond du lac m'a fourni les renseignements les plus importants sur l'étendue de l'éboulement en me permettant de délimiter exactement la région d'arrachement et le champ de déversement de l'éboulement.

Par ce procédé de sondage, il a été donné devant le Trait de Baye 221 coups de sonde. Tous les points furent levés par M. Jaquet, géomètre, et son aide. Une centaine d'échantillons de limon ont été recueillis et conservés. Les profondeurs reportées sur un plan au 1/500, ont permis à M. Jaquet de construire des courbes de niveau équidistantes de 1 m., tandis que de mon côté j'ai reporté sur ce même plan la nature du terrain constaté à chaque coup de sonde.

Pendant les sondages, il a été procédé généralement suivant

des profils partant de la rive vers le large et dont la direction fut déterminée par des jalons plantés sur la rive. Toutefois il a été levé encore un grand nombre de points intermédiaires en suivant des lignes parallèles à la rive, c'est-à-dire transversales à la direction supposée de l'éboulement, afin de bien se rendre compte des dimensions transversales et longitudinales de celui-ci.

J'ai cru devoir concentrer le plus grand nombre de sondages sur la région qu'il s'agissait spécialement d'étudier; mais il eut été intéressant sans doute de lever avec le même soin et autant de détails la rive entre le Trait et Territet surtout en vue du futur quai, si jamais le projet actuel de prolongement est mis en exécution.

Voilà donc les recherches faites dans le but de se rendre compte de l'étendue, des causes et des conséquences présentes et futures de cet accident.

D'autres études et recherches auraient pu être faites encore, mais elles auraient entraîné des frais considérables; j'y ai renoncé d'autant plus volontiers que les résultats qu'on va lire m'ont paru suffisants et satisfaisants.

V. Résultat des recherches.

Le terrain. — Je considère comme démontré que tout le sol dans la partie qui s'est écroulée le 19 mai 1891, se compose de graviers. C'est une masse considérable de graviers de tout volume qui a croulé vers le fond du lac, avec tout le terrain rapporté artificiellement et les constructions élevées au-dessus.

Configuration du fond sous-lacustre. — L'examen du plan à courbes de niveau construit d'après nos sondages par M. le géomètre Jaquet permet de faire des observations d'un grand intérêt touchant l'éboulement (pl. 7).

On constate sur une largeur d'une centaine de mètres parallèlement à la rive des irrégularités dans la direction des isohypses, elles s'infléchissent très fortement vers la rive, accusant un ravinement du talus sous-lacustre; les irrégularités se reconnaissent encore nettement à la courbe de 300 m., soit à 75 m. sous le niveau du lac.

En reconstituant aussi bien que cela a été possible, d'après la carte fédérale, les anciennes courbes, on voit que l'enlèvement de terrain s'étend depuis la rive sous le niveau de l'eau jusqu'à 70 à 80 m. de profondeur. *A l'effondrement du quai et de la grève correspond donc un vrai éboulement sous-lacustre*, d'une importance bien plus considérable que l'éboulement du terrain exondé qui a disparu. Le plan permet de nous en rendre compte très nettement. En effet toute la région dans laquelle les courbes de niveau s'infléchissent vers le rivage accusent un ravinement qui est indubitablement *l'aire de l'éboulement du « mont »*, dont le talus était trop fort pour résister à la surcharge. La sonde a accusé dans toute cette étendue la présence de graviers grossiers, alors qu'en dehors de cette zone, dans la région à courbes régulières, elle a ramené à la surface du limon lacustre fin dès 20-30 m. de profondeur.

En examinant plus attentivement la direction des courbes dans l'aire de l'éboulement, on est frappé du fait que les inflexions ne sont pas simples mais présentent une série d'ondulations. Il y a surtout une inflexion beaucoup plus forte que

les autres dont le milieu se trouve juste devant le grand mur resté en partie debout à l'ouest de l'Avenue Nestlé. Ce ravin plus fort que les autres se remarque jusqu'à la courbe 320 soit à 55 m. sous le niveau du lac. Il est séparé d'un ravin plus petit, situé plus à l'ouest, par un dos en saillie qui est par places plus élevé que le terrain primitif. Un troisième ravin encore plus faible se remarque à l'est entre les courbes 330 et 305.

Ces irrégularités dans l'intérieur de l'aire de l'éboulement dans son ensemble me paraissent pouvoir s'expliquer comme suit :

Le grand ravin au-devant du mur à l'ouest de l'Avenue Nestlé est dû à un *premier éboulement* dont l'aire peut être indiquée approximativement par la *ligne d-e-f* (pl. 7). Cet éboulement a fait disparaître une couche de terrain d'une épaisseur de 4-6 m., dans la partie moyenne, et de 8-12 m., dans la partie supérieure, en y comprenant le terrain rapporté. La limite supérieure était probablement le mur interne du quai. Cette première brèche, la plus profonde, a été suivie d'éboulements subséquents et partiels qui se sont produits à gauche et à droite et au-dessus. Le premier couloir s'est allongé jusqu'à la courbe de 296 m.; il s'est élargi; les couloirs plus petits mentionnés plus haut sont des écroulements partiels qui se sont manifestés dans la partie exondée par la chute successive des murs internes du quai, des constructions à l'intérieur de celui-ci et de la partie du quai à l'ouest du goulet. C'est à cette dernière chute qu'est due probablement la ravine devant la pergola occidentale et qui est si nettement accusée jusqu'à la courbe de 310 m. L'aire de tout cet ensemble d'éboulements peut être circonscrite par la ligne *g-h-i*.

On voit combien l'analyse de la configuration des talus sous-lacustres conduit à des conclusions en accord avec les observations faites à la surface. Au point où l'effondrement a commencé à la surface correspond la plus profonde région du ravin de l'éboulement sous-lacustre.

Des observations faites récemment (mars et avril 1892) pendant les basses eaux du lac, m'ont permis de constater qu'il existe encore à l'angle oriental du quai disparu deux pilotis dont la tête se trouve pour le premier *a*, à 1^m90 et pour le second *b* à 2^m10 sous le niveau de l'eau. Le pilotis *a* est encore fixé à une longrine qui dépasse l'eau (voir pl. 7). Ces deux pilotis ne sont évidemment plus dans leur position primitive au point de vue de l'altitude, vu qu'aucun pilotis n'a été enfoncé plus bas que le niveau du lac. La position horizontale du pilot *a* ne paraît pas avoir changé. Le 14 avril j'en ai relevé la position avec M. Jaquet. Le pilotis portant la longrine est évidemment un de la rangée extérieure, c'est celui de l'angle. Or sa position est presque la même qu'avant l'effondrement du quai soit de 2 m. devant le mur; la rangée antérieure avait été plantée à 1^m50 en avant du mur. Ce pilotis s'est donc seulement enfoncé verticalement de 2 mètres.

Le second pilotis est un peu en arrière de l'ancien mur. Il doit provenir de la seconde rangée qui se trouvait à environ 6 m. en arrière du mur extérieur. Il s'est donc déplacé de 6 m. en s'enfonçant de 2 m. Autour de l'un et de l'autre le terrain a disparu. A côté du pilot *a* on mesure 9 m. d'eau; il sort donc de 7^m10 du terrain; à côté de *b*, il y a 6^m50 d'eau soit 4^m40 de longueur hors du sol.

Ce sont les seuls pilotis du quai proprement dit qui se sont maintenus après l'effondrement.

On peut s'expliquer leur conservation par le fait que l'effondrement ayant commencé au milieu du quai, s'est propagé à gauche et à droite et que le sol graveleux sous l'angle du quai, sollicité par le ravin qui s'était formé au droit du grand mur de l'Avenue Nestlé a glissé le premier tandis que le mur au-dessus s'est enfoncé verticalement, après quoi il s'est brisé également en suivant le mouvement du terrain vers le fond du lac. Le pilotis retenu par l'amarre est resté à sa place après s'être affaissé ainsi de 2 mètres.

Il est un peu difficile de s'expliquer la présence du dos suivant la ligne A-B, et qui se trouve en partie plus élevé que l'ancien talus sous-lacustre.

S'il ne se trouvait sur aucun point plus élevé que le terrain antérieur à l'éboulement, on se l'expliquerait facilement, comme étant une petite arête séparant le grand ravin du premier éboulement du petit ravin à l'ouest. Mais cette explication ne satisfait pas; non seulement ce dos n'est sur aucun point de sa crête (ligne A-B) plus bas que le talus primitif, ce qui s'explique déjà difficilement, le terrain ayant glissé de part et d'autre, mais il est même plus élevé par places que l'ancien talus, comme s'il y avait eu apport de matériaux postérieurement à l'éboulement. De plus le sommet de cette arête commence justement là où l'éboulement finit, soit devant la pergola occidentale, le ravin à l'ouest ne se serait donc pas prolongé jusqu'à la partie exondée de la berge du lac, puisque au sommet de ce ravin le quai n'a pas cédé.

J'essaie donc de trouver une autre explication qui me semble plus conforme à la réalité des faits observés.

En effet ce dos peut tout aussi bien s'être formé après l'éboulement dans l'intérieur de la zone d'arrachement et cela de la manière suivante: Après que l'éboulement sous-lacustre se fut produit, que quai, murs, etc. furent engloutis, la vaudaire a continué pendant 2 jours encore jusqu'au 21 mai, à souffler avec violence, elle était surtout forte le 20 mai. C'est pendant ce temps que se produisit la forte érosion du terrain découvert par la disparition du quai et des murs de protection. Les vagues chassées par la vaudaire s'engouffrèrent dans la brèche ouverte, l'eau refoulée entraînant les matériaux enlevés par le choc des vagues, devait nécessairement ressortir de cet enfoncement au pied de la pergola occidentale, en décrivant un demi-cercle. Les graviers enlevés à la berge (qui avait été surélevée ici de près de 3 m. par du remblais) furent jetés dans l'aire de l'éboulement où ils s'entassèrent en formant un cône de déjection immergé suivant la ligne A-B et comprise dans la ligne pointillée k-l-m. Voilà une explication qui me paraît plausible, je n'en puis donner de preuves, la nature de la chose étant de celles qui ne se prêtent pas à une démonstration directe; elle me semble toutefois suffisamment conforme aux événements observés et aux faits constatés, à tel point qu'on peut l'accepter comme démontrée. On en peut conclure que si immédiatement après l'éboulement du 19 mai la vaudaire était tombée et que si le lac s'était calmé, les érosions subséquentes ne se seraient pas produites et le dépôt en question n'aurait pas comblé une partie de l'aire de l'éboulement.

Telles sont les observations et conclusions que m'a suggérées l'examen de la configuration du talus sous-lacustre dans la

région de l'éboulement dessiné sur le plan dressé d'après nos sondages.

Région de déversement de l'éboulement. — Les renseignements que nous a fournis la sonde sur la nature du sol lacustre nous permettent de délimiter approximativement l'étendue du champ de déversement des terrains éboulés. Ce dépôt en s'étalant insensiblement, et en se répandant sur un sol vaseux n'a pas laissé dans le relief beaucoup de traces de sa présence. Ce n'est qu'au-dessous du bord oriental de l'éboulement qu'on remarque entre les courbes 300 et 264 une intumescence assez accusée pouvant faire présumer la présence d'un dépôt ayant exhaussé l'ancien fond lacustre. L'épaisseur de ce dépôt ne peut en aucun cas être bien considérable, l'absence d'indices dans le relief du sol ne peut donc guère surprendre (voir les chiffres plus loin). Ce qui nous a permis par contre de tracer les limites du champ de déjection de l'éboulement, ce sont les échantillons du sol et les indices sur la nature du terrain recueillis au moyen de la sonde.

On constate en effet sur un talus normal, où aucun éboulement ne s'est produit depuis fort longtemps, qu'à partir de 15-20 m. de profondeur, les sables et graviers qui se déposent au sommet du mont et sur la beine, font place à des limons sableux d'abord, puis de plus en plus fins, et, vers 20-30 m., on ne trouve presque plus jusqu'aux grandes profondeurs que du limon impalpable, véritable vase grise ou un peu jaunâtre à la surface, quelquefois noircie par l'abondance de matières organiques en voie de décomposition; elle répand alors une forte odeur d'hydrogène sulfuré.

Or, il y a en dessous de la courbe de 300 m., devant l'éboulement, une zone de largeur croissante (de 120-150 m.) dans laquelle la sonde et les dragages ont accusé la présence de graviers, quelquefois mêlés de limon, alors que de chaque côté de cette zone le fond du lac se compose exclusivement de limon vaseux impalpable et de vase noire ne renfermant que peu de sable et jamais des graviers. Cette zone de gravier a les allures d'une coulée, commençant droit au-dessous de l'aire d'arrachement de l'éboulement que nous avons délimité par la ligne g-h-i et elle s'étend jusqu'au plafond du lac qui est ici à 265 m. C'est de cette profondeur que la sonde a encore ramené à la surface du limon mêlé de graviers indiquant l'extrême limite du dépôt formé par l'éboulement; plus loin le fond est absolument vaseux.

La ligne n-o-p-q indique donc la limite entre la région intacte à sol vaseux ou limoneux, et le champ de déjection de l'éboulement, dont le sol est formé de graviers ou de graviers mêlés de vase, au point où le dépôt de l'éboulement n'est que peu épais. Du reste, l'éboulement en se mouvant sur le talus lacustre a dû refouler devant lui la surface vaseuse et les matériaux volumineux n'ont probablement pas pu arriver aussi loin que les graviers et sables grossiers, puisqu'ils devaient avoir la tendance à s'enfoncer dans la vase impalpable. C'est pour cette raison sans doute que j'ai trouvé dans des étendues assez restreintes alternativement des graviers et de la vase, et que, ayant refait des sondages environ 2 mois après avoir fait la première série, j'ai trouvé de la vase aux endroits où auparavant la sonde avait heurté des graviers. Il n'est pas à présumer que ceux-ci se soient si vite recouverts de limon, mais il me paraît plus probable qu'ils se soient

enfoncés dans la vase semi-liquide, en raison de leur densité plus grande¹. Beaucoup de matériaux sont sans doute restés dans l'aire même de l'arrachement.

Volume de l'éboulement. — Les résultats qui précèdent sont, me semble-t-il, assez concluants et assez complets pour nous permettre de déterminer quelle a été l'importance de cet éboulement.

L'aire du premier éboulement occupe une surface ayant en chiffre rond 5000 m², si nous admettons comme épaisseur moyenne du terrain glissé le chiffre de 3 m., qui n'est certainement pas exagéré, nous obtenons un cube de 15 000 m³.

L'aire des éboulements et des érosions subséquentes est de 12 000 m² et prenant 1 m. comme épaisseur moyenne on obtient avec les 15 000 m³ ci-dessus, un volume total de 27 000 m³ de terrain glissé au fond du lac.

La partie de terre émergée qui a disparu se monte, déduction faite du port et en comptant la maçonnerie hors de terre, à environ 1900 m³, ce qui représente seulement le 7 % du total du terrain éboulé. *L'éboulement sous-lacustre est donc bien plus considérable que l'effondrement visible des terres émergées.* Et il faut encore tenir compte qu'une grande partie de ces dernières a disparu ensuite d'érosions subséquentes à l'éboulement, par la simple action des vagues.

On peut admettre qu'une grande partie du terrain du premier éboulement est allé se répandre au fond du lac, tandis qu'une grande partie des éboulements subséquents se sont déversés dans le champ d'arrachement, en comblant la partie inférieure de celui-ci, enfin le terrain arraché de la rive a formé le dépôt le long de la ligne A-B. Il y a lieu de penser que les $\frac{2}{5}$ du total des terrains glissés sont restés dans l'aire d'arrachement, les $\frac{3}{5}$ se sont répandus dans le champ de déjection. Celui-ci d'une surface d'au moins 45 000 m² a donc reçu 16 000 m³ de matériaux ce qui fait un exhaussement de tout au plus de 0,35 m. Entre les courbes 300 et 250, le sol a été exhaussé d'une valeur supérieure à 0,35. Plus bas l'exhaussement est presque imperceptible. Il se peut de plus qu'une partie du dépôt se soit enfoncé dans la vase en refoulant celle-ci. Je ne sais pas, en effet, s'il faut considérer l'intumescence très prononcée qui se trouve à l'ouest de la coulée de graviers, entre la ligne n-o et la ligne pointillée n-r, comme le produit d'un refoulement de la vase limoneuse? Les sondages fédéraux ne permettent pas d'affirmer ou de nier la préexistence de cette saillie sur le talus antérieurement à l'éboulement. Je ne considère pas la chose comme impossible, mais il n'est pas prudent d'être plus affirmatif sur des phénomènes qui sont à tel point en dehors de nos moyens d'investigation. Dans tous les cas la sonde n'a rencontré dans toute cette région à l'ouest de la ligne n-o que de la vase grise impalpable et il n'est pas possible de dire si elle a été remaniée ou non.

(A suivre.)

¹ A plusieurs reprises, pendant les sondages, le poids de la sonde s'était enfoncé si bien dans le limon que je le croyais accroché à quelque obstacle.

VIBRATIONS DES PONTS MÉTALLIQUES

Compte-rendu par A. VAUTIER, ingénieur.

Dans un travail récent, notre éminent collègue, M. J. Gaudard, mentionnait le fait que les constructeurs ne s'occupent que de la statique et négligent généralement les phénomènes dynamiques qui se produisent dans certains ouvrages. C'est aussi l'opinion de M. le professeur Friedrich Steiner, de Prague, lequel a présenté à la Société des ingénieurs et des architectes autrichiens¹ un rapport très remarqué sur les vibrations des ponts métalliques, sur l'influence de la température, sur la résistance des métaux et sur les qualités comparatives des fers employés dans la construction.

Nous nous bornerons ici à la question des vibrations.

On sait que lorsqu'un corps élastique est soumis à un choc ou à une impulsion, il se met à vibrer. S'il s'agit d'une longue tige de fer, par exemple, on pourra constater que ce mouvement vibratoire se transmet avec une vitesse égale à celle du son, soit environ 5000 m. par seconde, et que la tige présente des points où le déplacement moléculaire est nul, des nœuds, tandis qu'en d'autres points la vibration est considérable.

On sait aussi que ces vibrations peuvent amener la rupture, ce que l'on prouve parfois par l'expérience suivante. Un verre à pied en cristal mince donne quand on le frappe une note basse; si pendant qu'il vibre encore un chanteur émet avec force la même note près l'ouverture du verre, il pourra en amener la rupture en augmentant ainsi les vibrations sonores.

Le nombre de vibrations qui peuvent se produire en un temps donné et leur intensité dépendent de la nature du solide, de ses dimensions et de son état de tension.

Si le choc ou *impulsion* qui a produit la première vibration vient à se répéter en concordance exacte avec les vibrations du solide, les ondes vibratoires s'ajouteront. Il en sera de même si le nombre des impulsions par seconde est exactement la moitié ou le quart du nombre de vibrations du solide. Si ce nombre est double, la vibration cesse, car une impulsion détruit l'effet de la précédente.

Lorsqu'il s'agit d'un pont, les impulsions auxquelles il est exposé sont: les pas répétés des piétons et des chevaux, le roulement des voitures sur une aire raboteuse ou celui des trains sur une voie présentant des joints. Les contrepoids des roues motrices des locomotives peuvent aussi donner lieu à des impulsions périodiques.

On connaît depuis longtemps l'effet produit par une troupe en marche sur un pont suspendu et l'on a observé que les piétons ont une tendance instinctive à régler leur pas sur les oscillations du tablier, ce qui augmente leurs amplitudes.

Lors de l'essai du pont suspendu de 150 mètres de portée, Kaiser Franz Josephs-Brücke, qui eut lieu en 1883, on fit plusieurs expériences en faisant circuler des chars lourdement chargés et des troupes, en mesurant soigneusement les inflexions des câbles et des piliers. Les tensions en divers points étaient constatées au moyen de l'indicateur de tensions de Fränkel, de manière à pouvoir déterminer le véritable coefficient de travail dans les parties principales de l'ouvrage.

¹ *Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins*, Heft N° 8 u. 10, 1892. Un extrait étendu de ce rapport a paru dans la *Schweizerische Bauzeitung* en avril.