

Éboulement de coteaux irrigués dans la Colombie britannique

Autor(en): **Gaudard, Jules**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **24 (1898)**

Heft 6 & 7

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-20338>

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

PARAISSANT A LAUSANNE 8 FOIS PAR AN

Administration : Place de la Louve.

(GEORGES BRIDEL & C^e éditeurs.)

Rédaction : Rue Pépinet, 1.

(M. A. VAN MUYPEN, ing.)

Volume V

Sommaire : Eboulements de coteaux irrigués dans la Colombie britannique, par Jules Gaudard, professeur à l'Ecole d'ingénieurs, à Lausanne. — Concours d'architecture. Bâtiment d'administration à Lausanne. (Pl. N^{os} 12 et 13.) — Le journal *Le béton armé* et les ponts de la Maladière. — Divers : Fondations dans les terrains compressibles.

ÉBOULEMENTS DE COTEAUX IRRIGUÉS

DANS LA COLOMBIE BRITANNIQUE

par JULES GAUDARD,

professeur à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne.

Un mémoire d'un intérêt spécial a été présenté par M. Robert Brewster Stanton à l'Institut des ingénieurs civils anglais, sous le titre : *The Great Land-Slides on the Canadian Pacific Railway in British Columbia*. La correspondance que nous avons échangée avec M. le secrétaire Tudsbury au sujet de ce travail nous met en mesure d'en extraire les faits les plus caractéristiques et les conclusions qui en découlent. Il s'agit de mouvements de terrains d'une ampleur démesurée et qui sont survenus à la suite d'irrigations.

Assurément, l'irrigation ne se manifeste pas en général comme un agent destructeur de la stabilité du sol ; tout au contraire, la retenue d'eau, l'éparpillement, l'utilisation ralentie, l'absorption par les plantes, la restitution partielle à l'atmosphère vont à l'encontre des débordements soudains et constituent ainsi un antidote à opposer aux dangers d'inondation. Aussi n'est-ce pas contre l'eau réellement utilisée, contre l'eau imprégnant la couche arable, que les griefs s'élèvent, mais contre le superflu qui a pu s'infiltrer dans les profondeurs du sol et y aller détremper des glaises poreuses. On sait déjà de reste que les suintements intérieurs sont la cause la plus fréquente de glissements de terrains en pente, mais voici le cas nouveau : c'est que ces eaux nuisibles ont été apportées par des travaux artificiels, par la volonté de l'homme ; qu'à cette adduction seule est imputable la rupture de l'équilibre antérieur, indépendamment de toute tranchée ou remblayage, de toute modification artificielle dans le profil du terrain. C'est tout l'opposé des circonstances habituelles des talus glissants de lignes ferrées ; on se garde bien ici d'introduire des eaux nouvelles dans le sous-sol ; les eaux préexistaient, leur alimentation tenait à des causes naturelles qu'il ne pouvait être question de supprimer ; le terrain s'était fait à ces infiltrations et n'en souffrait pas dans sa stabilité ; c'est l'exécution des déblais ou des remblais qui seule, venant entailler ou surcharger les couches mobiles, a troublé leur équilibre.

Pour bien faire ressortir la divergence des cas, entrons dans quelques détails. Considérons d'abord les circonstances usuelles et bien connues que présentent les tranchées de chemin de fer en mauvais terrain. Quoique non taillée à pic, mais mise en talus, la paroi de la fouille, privée qu'elle est de la butée ou de la réaction des terres enlevées, prend un état de détente, acquiert une tendance au boursoufflement. Cette tension moléculaire anormale ne se manifeste toutefois que sur une épaisseur assez modique ; elle va en s'atténuant avec la profondeur ; à quelque distance, le terrain nese ressent plus de manière appréciable du dérangement apporté par la main de l'homme. Si donc un éboulement survient, il ne prendra pas du premier coup une grande extension ; un premier prisme tombera ; quelque temps après un second, situé plus en arrière, se détachera à son tour, et ainsi de suite. D'où cette conclusion, qu'il suffit d'arrêter le premier ébranlement, de l'empêcher de naître pour qu'on n'ait pas même à se poser la question de sa propagation plus lointaine. L'idée surgit de garnir d'un mur percé de barbacanes ou fait de pierres sèches le bord amont de la tranchée, et au besoin d'épauler ce premier mur, par un radier sous voie ou par des arceaux en dessus, contre un revêtement antagoniste appliqué au bord aval. Le dernier terme de cette disposition reviendrait à remplacer la tranchée par un tunnel.

A défaut du système de consolidation par muraillement, il en existe un autre, plus usuel encore et plus économique dans la plupart des cas : il consiste à transformer en contrefort résistant une forte largeur du terrain lui-même en arrière du talus. Cela s'obtient par le simple assèchement de ce terrain au moyen de drainage, de pierrées, de fossés, dalots ou galeries établies soit en circonvallation, soit dans des directions normales. C'est généralement dans un champ restreint, au voisinage du point critique, c'est-à-dire de la tranchée, qu'il suffit d'assurer cet assainissement, ce dégagement des eaux souterraines, afin de les détourner de filtrations sourdes et latentes.

Le système, aujourd'hui fort répandu, des éperons ou cloisons transversales à pierres sèches présente l'avantage de joindre à l'effet de drainage un effet de retenue mécanique. Recoupant normalement le talus ou le coteau ébouleux, dont leur crête rampante suit l'affleurement, munis d'un caniveau à leur base, reliés au besoin entre eux, sur l'arrière, par une

galerie longitudinale à pentes alternantes et solidement assise, ces murs secs soutirent l'humidité ambiante ; aux velléités de glissement des massifs de terre qu'ils sectionnent et ençoignent ils opposent une résistance latérale de friction, sous réserve qu'eux-mêmes ils ne cèdent pas aux sollicitations d'entraînement, et qu'à cet effet ils soient descendus et fondés sur une couche inébranlable. Le succès, à vrai dire, paraît dépendre d'un certain degré moyen de cohérence de la terre, degré tel que la surface du talus ne se ballonne pas entre deux éperons, et que cependant une poussée s'exerce contre ces derniers et y engendre le frottement sur lequel on compte. La terre est-elle jugée trop visqueuse, trop sujette à se boursoufler, on cherche à durcir, à alourdir sa surface par l'application d'un manteau de perrés ou par des arceaux en maçonnerie couchés en écharpes sur le talus. Par économie de matière, on pourrait réduire ce perreyage à une plaque centrale, ou faire décroître son épaisseur du centre vers les bords. Si, au contraire, le bloc terreux est si ferme qu'il ne se colle pas suffisamment contre les murs transversaux, tout en menaçant encore de glisser sur une couche sous-jacente et ramollie, il resterait à mettre à profit cette solidité pour le maintenir par coïncement. Au lieu de donner, selon l'usage, aux murs transversaux ou éperons une épaisseur constante, il n'y aurait qu'à leur attribuer une section horizontale qui s'épaissirait graduellement de l'amont à l'aval ; de la sorte, le massif de terre intercalé entre deux d'entre eux, affecterait une forme trapézoïdale en plan et se calerait de lui-même ou ne pourrait descendre qu'en se désagrégant. Pour raison semblable, il conviendrait aussi de donner du fruit en coupe verticale à ces mêmes murs ; car le bloc éboulé ne se meut que pour descendre et le fruit en question contribuerait à le soutenir.

Les déblais de travaux publics ne sont pas seuls à pouvoir provoquer des éboulements. L'érosion naturelle du lit des torrents agit d'une façon semblable, lorsqu'elle déchausse le pied de versants abrupts et instables. Le même fait s'est occasionnellement produit sur des rivages lacustres, où une baisse extraordinaire de la nappe d'eau était venue diminuer la butée hydraulique. En principe, ce sont là des accidents de même genre que ceux des chemins de fer.

Nous allons voir maintenant que les remèdes connus seraient sans usage dans des circonstances de terrain semblables à celles que M. Stanton explique s'être produites dans la Colombie britannique. Il s'agit, il est vrai, d'éboulements intéressants un chemin de fer, le Canadian Pacific Railway, ouvert en 1885 ; mais les désastres s'étaient déjà manifestés dès 1881, en sorte que la construction de la ligne n'a point été leur cause déterminante. Pas davantage il ne faut accuser l'antique et profond sillon creusé par la rivière Thompson, affluent de la Fraser ; car la berge escarpée, aussi longtemps qu'elle était demeurée à sec, paraît avoir joui d'une stabilité séculaire : cela, bien entendu, postérieurement aux périodes géologiques qui avaient tourmenté et façonné la contrée. En remontant le Thompson jusqu'à 66 km. du confluent, on arrive à la gorge du Black Cagnon, qui doit son nom à la présence des schistes noirs. À l'est surgissent deux pointes de grès dur, dont l'une est traversée par un tunnel. Là, un peu en aval de la ville d'Ashcroft et à 317 km. en amont et à l'est de la

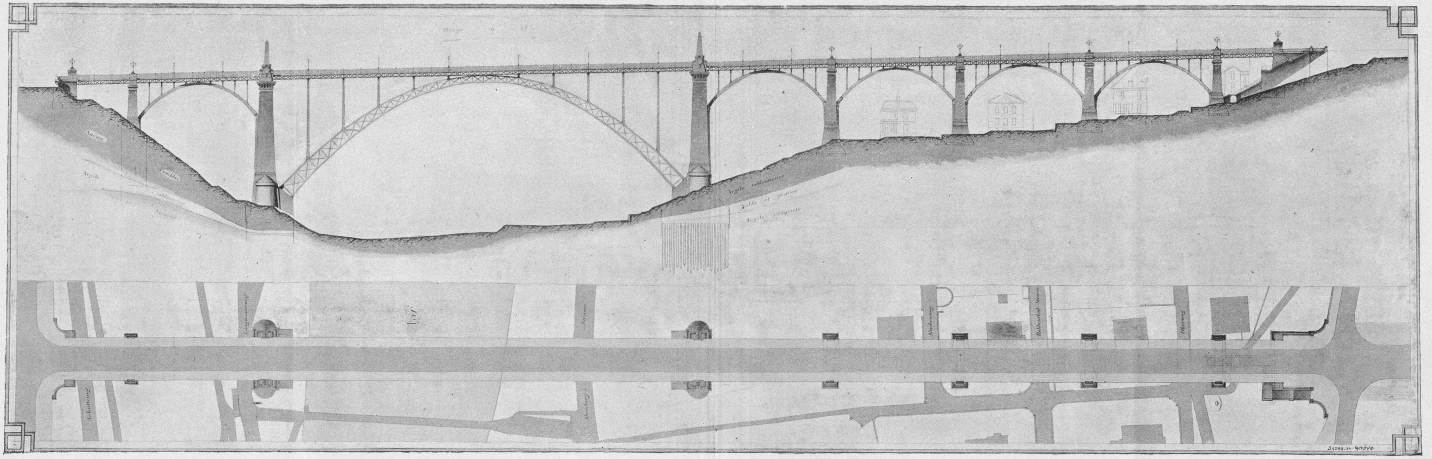
station terminale de Vancouver, s'échelonnent, sur environ 8 km., sept vastes glissements de terrains, et quelques autres de moindre importance. Il s'en est encore produit un grand à 32 km. plus en aval, en face de Spence's Bridge. La région est des plus accidentées ; c'est une gorge large et profonde, bordée de hautes crêtes, sillonnée de banquettes et de terrasses en reliefs successifs. La rivière s'est creusé un ravin intérieur, dont les parois mesurent de 15 à 45 m. au-dessus de l'étiage. De là, la surface s'élève jusqu'à une altitude générale d'environ 550 m., soit à 300 m. au-dessus de l'eau. Des deux plus grands glissements, celui qui est au sud du tunnel s'étend sur 570 m. de longueur maximale le long du railway et sur une largeur de 480 m. perpendiculairement à la rivière, avec contour semi-circulaire à l'arrière. Le glissement nord, avec des dimensions correspondantes d'environ 800 et 1200 m., embrasse une superficie de 63 hectares. La déchirure périmétrique tombe presque verticalement sur une hauteur présumée de 90 m. à l'éboulement sud, et de 120 m. à celui du nord. Sous des couches de limon sableux et de sable grossier, le terrain comporte du gravier presque pur, des cailloux stratifiés, puis du gravier partiellement cimenté, avec des blocs plus ou moins gros, par une argile poreuse arénacée, le *boulder clay*, que l'eau traverse librement, mais qui, à sec, peut se tenir à pic sur de grandes hauteurs.

M. Paterson assimile ces dépôts poreux à ceux que les géologues anglais appellent *Kaims* ou *Eskers*, et qui sont considérés comme provenant d'un mélange de moraine glaciaire et de graviers marins. Un tunnel qu'il a percé dans un *Esker*, à 11 m. du bord de la rivière Aire, à Shipley, recevait et rendait librement l'eau en suivant toutes les oscillations de la rivière.

La moraine glaciaire du Black Cagnon s'étend profondément en dessous des terrasses supérieures, où elle arrive peut-être par endroits à avoir 150 m. d'épaisseur. Dans les profondeurs se rencontre encore une argile de nature imparfaite, mais exempte de gravier et qui a été stratifiée par couches fines et horizontales, qu'interrompent ci et là des poches sableuses. Ces dépôts de *silt* blanc, — pour adopter le mot anglais, — se trouvent aujourd'hui irrégulièrement distribués, ayant subi les bouleversements de la période glaciaire avec des phases de transport par dénudation, emportés ici, entremêlés là avec le *boulder clay*, accumulés ailleurs en masses puissantes. Les propriétés physiques dont cette matière est douée expliquent les méfaits qu'on lui reproche. A son état naturel, le *silt* est dur et sec comme un grès tendre ; il résonne sous un petit marteau, et cependant de fortes pièces, immergées dans l'eau, s'y résolvent au bout de quelques minutes en une bouillie de la consistance de purée épaisse. En maints endroits, les éboulis laissent apercevoir à leur pied des suintements de cette boue. Mais alors, comment s'expliquer le fait que, dans le lit et sur les berges du Thompson et du Nelson's Creek, où le *silt* apparaît aussi par places et occupe même, en un certain point, toute une tranche verticale de 30 m. de hauteur, il ait résisté à l'érosion des plus fortes crues et conservé toute sa ténacité ? C'est que cette matière est composée de trois éléments : — silice en sable ; — alumine sous deux formes, savoir feldspath granuleux, puis une petite quantité de feldspath décomposé ou argile plastique. Or, sous la friction d'une

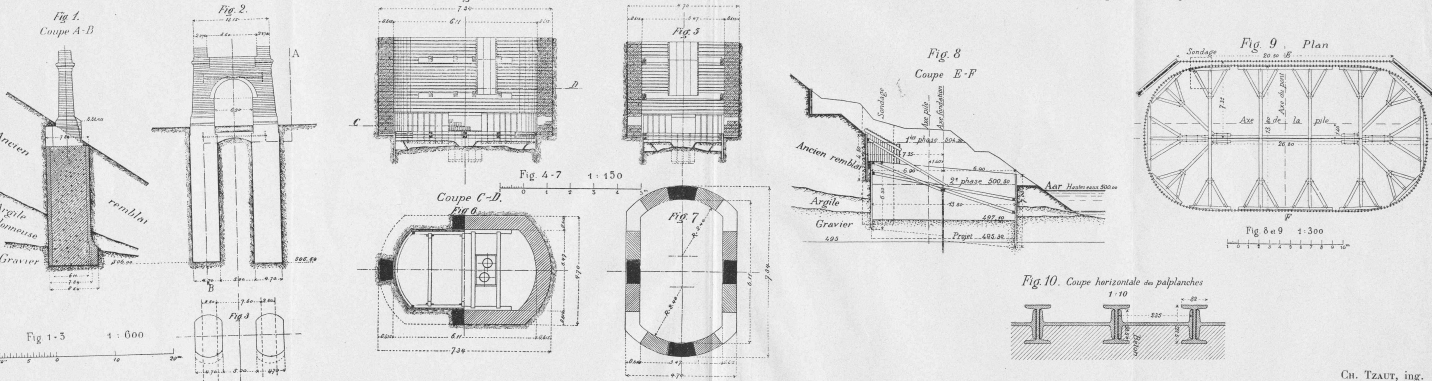
PONT DU GRENIER A BERNE

Elevation générale et plan. — Echelle 1 : 1000.



Fondation de la pile N° 1.

Fondation de la pile-culée de gauche.



Ch. TZAUT, ing.

Seite / page

leer / vide /
blank

eau courante, tout le sable siliceux ou feldspathique de la surface se laisse entraîner mécaniquement, tandis que le feldspath décomposé, aidé du concours éventuel d'agents chimiques (chaux, ammoniac, acide carbonique), constitue un enduit plastique et imperméable, protecteur de toute la masse intérieure. Ainsi l'eau cantonnée et immobile liquéfie le *silt*, l'eau courante le vernit et le conserve; ou du moins, si une petite partie se désagrège graduellement au contact de l'atmosphère; si, dans la saison sèche, la couche plastique se brûle et tombe, la remonte des eaux a bientôt fait de reconstituer un nouvel enduit. On peut rencontrer partout des argiles moites, lentes à se fondre dans l'eau, et des argiles sèches qui s'y désagrègent rapidement.

Dans le *silt* du Black Cagnon, l'analyse a constaté 27 % seulement de silice et 57 % d'alumine et d'oxyde de fer, tandis que le kaolin renferme respectivement 47 et 38 % de ces corps, et l'argile bleue anglaise en moyenne 63 et 19 %. Des gisements bas de *silt*, surmontés de gravier et de *boulder clay* secondaire ou ré-arrangé, s'étendent jusqu'à 500 m. en arrière de la rive du Thompson dans l'éboulement sud, et à près de 1200 m. dans l'éboulement nord, tandis qu'aucun gisement de *silt* à de basses élévations ne se rencontre à travers toute la partie intermédiaire de la vallée, c'est-à-dire à l'est du tunnel du Black Cagnon. Ces dépôts rendent parfaitement compte de la forme des deux grands glissements et de leur immense chute verticale.

Là où existent des fissures bien marquées à l'intérieur d'un terrain, les infiltrations d'eau exercent non seulement des effets de délitement, mais encore, sous l'empire de hautes colonnes hydrostatiques, des pressions latérales, qui peuvent être à redouter lorsqu'une face se trouve dégagée et exposée au renversement. Toutefois, cette eau ne saurait soulever des éléments solides plus denses qu'elle-même. Si d'ailleurs, au lieu de conduits ouverts ou de disjonctions d'éléments solides, ou de phénomènes de délitement, de détente, de retrait favorisant l'insinuation du liquide, il n'y a guère que de la porosité, l'infiltration ne peut être que fort lente, pénible, et la pression motrice singulièrement affaiblie. Aussi ne s'agit-il pas du soulèvement de solides, mais de particules gazeuses. Sans invoquer des phénomènes obscurs de capillarité, d'endosmose ou d'affinité, en ne considérant que le principe des mouvements engendrés par la pesanteur, à savoir l'abaissement du centre de gravité général, l'infiltration d'un liquide dans le sol trouve sa raison d'être en ce que ce liquide s'échange avec un gaz plus léger que lui. C'est ainsi que le *silt*, par-dessous la moraine qui l'étreint, peut absorber jusqu'à 53 % d'eau sans augmenter de volume, et déjà à 35 % il devient incapable de soutenir de grands poids, sinon en vertu du confinement.

La cause motrice des infiltrations existe, disons-nous; elle doit produire ses effets, quitte à y mettre le temps; il n'y a donc guère à s'étonner s'il faut parfois de longues années avant qu'un terrain s'imbibe jusqu'en ses profondeurs. Pour disputer leur place aux bulles gazeuses, les particules liquides descendantes ne doivent pas obstruer d'une façon invincible les conduits par lesquels seuls ces bulles trouvent issue dans leur cheminement inverse. La gêne mutuelle que s'opposent les

deux éléments antagonistes augmente à l'excès avec la profondeur; loin que la pression favorise et hâte l'avancement de l'eau, elle ne fait guère que comprimer les parcelles de gaz, diminuer d'autant leur force ascensionnelle et les tenir mieux emprisonnées. Ainsi s'explique la tardivité de survenance de glissements de terres sur la ligne de Brunoy à Bois-le-Roi, plus de quarante ans après l'exécution des tranchées. Là, c'était de l'eau pluviale venant imprégner, sur le talus, l'affleurement d'une mince couche perméable, légèrement plongeante; il y avait donc un peu de pente pour amorcer le travail de la gravité, mais on conçoit quel temps pouvait s'écouler avant qu'une grande longueur de nappe se trouvât ainsi lubrifiée. De plus, l'éboulement ne pouvait se produire qu'en remontant cette même pente, dont la valeur allait peut-être à 10 % (d'après M. Cartault, oct. 1894 des *Annales des ponts et chaussées.*)

Mais revenons aux éboulements canadiens. On pressent maintenant comment les choses ont dû s'y passer. Durant des siècles le sol s'était maintenu en place; ni les pluies, qui n'excèdent pas 15 cm. annuels, ni des écoulements d'eaux intérieures, dont l'examen géologique exclut l'existence, ni les ruisseaux qui coulent en dehors du siège des éboulements, ne mettaient la stabilité en péril. Que la rivière n'ait été, en aucun degré, la cause originelle d'aucun des glissements, cela ressort du fait qu'elle n'entraîne que ce qui y tombe, et qu'elle n'imbibe et n'entame point ses berges, même en des points où elles se présentent en murailles de *boulder clay*, voire de *silt* pur et nu se tenant à pic sur des hauteurs de 3 à 30 m. C'est à la suite des irrigations, au bout de trois à six années, que les mouvements sont survenus. Les cultures du pays demandaient beaucoup d'eau en raison de la nature sableuse du sol. Les champs d'irrigation se présentent sous forme de bassins peu profonds, que circonscrivent les fossés d'amenée; la majeure partie des eaux excédantes s'infiltré en cherchant la direction de moindre résistance; elle se jette vers le centre du champ et suinte en bas comme par un couloir. C'est autant que si elle descendait de partout; car, une fois qu'elle est parvenue à un amas de *silt*, celui-ci, à mesure qu'il se liquéfie, propage en tous sens les effets de l'humectation: cela même avant les mouvements, et *a fortiori* lorsque ceux-ci naîtront et que le liquide, cédant aux pressions colossales des masses superposées, s'ouvrira des issues de moindre résistance dans la terre vierge. De ce liquide confiné et captif rien ne se perd; il s'accroît sans cesse par des apports nouveaux; le périmètre s'étend, l'eau s'étale, c'est un lac de vase souterraine s'élargissant sans relâche. Or un liquide ne possède pas comme un solide une pluralité d'états virtuels de résistance; il ne connaît qu'une condition de stabilité, la loi hydrostatique. Sur tous les points d'une surface de niveau s'exercent forcément des pressions égales, que ces pressions soient le fait de colonnes d'eau ou de colonnes de terre. Existe-t-il sur quelque point une colonne terreuse trop élevée, trop lourde? Aussitôt que la désagrégation ambiante lui permettra de rompre l'adhérence qui la soutenait, elle s'affaissera, refoulera la vase liquide, et par là fera refluer et remonter d'autres colonnes trop légères. C'est tout un travail de nivellement progressif de la surface du sol, qui se poursuit aussi longtemps que la cause subsiste, bien qu'il ne procède que par à-coups successifs, en raison des

résistances de cohésion ou de frottement à vaincre. Ce sont donc en principe des plongements, des dépressions et refluxes verticaux; pas besoin d'un ravin ou d'une tranchée pour les provoquer. Si toutefois un tel réceptacle existe, il ne manquera pas de contribuer aux bouleversements, de faire appel à des glissements horizontaux, à des poussées au vide, et de déterminer une descente générale de bien plus d'ampleur que celle qui résulterait du simple régalage d'aspérités superficielles. Au surplus, la pente générale du terrain produit un effet semblable, c'est-à-dire que, aux abaissements et aux exhaussements, elle ajoute une poussée de l'amont vers l'aval susceptible de se déceler à la surface, bien que ce soit plutôt dans les profondeurs que se trouve le siège des transports horizontaux; c'est la poche fluide sous-jacente qui change de place ou de forme; c'est elle qu'expulsent les éminences du sol et qui cherche refuge sous les dépressions. A mesure qu'elle s'avance, elle entr'ouvre et fraie la voie à des appels d'eau, à des liquéfactions nouvelles des terres poreuses.

Le moteur, c'est-à-dire l'irrigation, continuant d'agir, le mal empire jusqu'au terme de l'évolution, qui n'est autre que l'horizontalisation de la surface. C'est l'état de stabilité finale, pour autant du moins que les masses intéressées sont d'égale densité dans les divers lits horizontaux. S'il en était autrement; si, par exemple, sous un sol de niveau, lourd et friable, gisait une épaisse tranche d'eau, inclinée et légère, l'équilibre n'aurait pas lieu, puisque, d'un point à l'autre de la nappe liquide, la différence des colonnes piézométriques aurait une densité plus forte que celle du liquide lui-même. Un sol placé dans ces conditions devra donc s'affaisser là où l'eau gît plus profondément; il acquerra une pente moindre, mais de même sens que celle de la couche aqueuse.

Si tout était régulier et graduel, soit l'adduction des eaux perturbatrices, soit la déclivité du sol, soit la nature de celui-ci, le mouvement de déformation lui-même devrait s'opérer d'une façon tout à fait continue et insensible. Or, il n'en est rien; tout est irrégulier et variable, et notamment, dans la région colombienne qui nous occupe, le terrain s'élève par gradins; alors, suivant les points où se promène l'eau souterraine, elle est soumise tantôt à d'insignifiantes, tantôt à de brusques différences de colonnes piézométriques; aussi les mouvements se sont-ils produits par saccades, par à-coups intermittents. A une phase plus ou moins prolongée de repos ou d'affaissements partiels et lents, qui étaient des signes précurseurs, succédait quelque écroulement soudain, qui pouvait n'être lui-même que l'avant-coureur des chutes finales. A chaque reprise, la masse était plus profondément désagrégée, verticalement déchirée par l'affaissement d'amont, sous-minée et lubrifiée à sa base par l'allongement graduel de la nappe fluide et glissante, jusqu'au moment où la berge s'est rompue et s'est jetée dans la rivière.

Ainsi un sol à surface inclinée ou ondulée ne se maintient tel que grâce à sa solidité; toute liquéfaction, même partielle, intérieure et profonde, a pour tendance inévitable de l'amener à se niveler à la longue, pour peu que la cohésion cède¹.

¹ On a signalé en certaines contrées, notamment en Algérie, l'existence probable de lacs souterrains, et cela implique une surface du sol sensiblement horizontale.

Cependant, à chaque chute, l'impulsion dynamique peut produire des situations qui dépassent celle d'équilibre; il arrive ainsi que le pied des éboulis ait gravi les contrepentes du versant opposé, ou encore que telle partie du sol, qui auparavant était horizontale ou peu inclinée ait pu affecter, après l'éboulement, une inclinaison renversée à contre-sens. Il y a de ces plongements en arrière dont la déclivité atteint jusqu'à 45 degrés dans le Black Cagnon.

En poussant vers l'aval, la masse entière s'est scindée en blocs par des suites de crevasses, dont les principales sont parallèles à la rivière, et par conséquent normales à la direction du mouvement, tandis que d'autres, de moindre importance, courent dans toutes les directions.

Telle est donc l'explication des phénomènes survenus dans la Colombie britannique, sur les bords du Thompson. Au bout de quelques années d'irrigation, une grande masse de terre et de pierres, estimée à environ 30 millions de tonnes dans le glissement sud et à une centaine de millions dans le glissement nord, s'écroula presque verticalement, pendant que, en dessous, l'immense traînée de matières détremées se frayait une issue jusqu'à la rivière. Cette chute se révèle distinctement par les parois à pic le long du contour des deux éboulis. Tandis qu'à leur pied apparaît un talus de matériaux écrasés, ces falaises argileuses se tiennent à des hauteurs de 15 à 60 m. et sont surtout accusées au glissement nord, où elles s'étendent sur un périmètre de 2 1/2 kilomètres. Des aspects semblables se constatent, en diminutif, dans les crevasses les plus importantes.

Le grand glissement nord s'est produit en octobre 1881. L'irrigation avait été pratiquée au-dessus de ce point depuis quelques années, au moyen de fossés rustiques amenant des eaux de montagne (ruisseaux ou réservoirs) sur les champs, vergers et jardins. Quelque temps avant la catastrophe, un réservoir distant de 3 km. avait rompu sa digue, et la majeure partie de son contenu s'était précipitée sur les banquettes supérieures de cette région déjà bien imbibée. Toute l'étendue de 60 hectares s'affaissa d'un seul coup. La portion inférieure, d'environ 600 m. de large, fut refoulée à travers la rivière sur une distance de 250 à 300 m. et, se heurtant à l'escarpement opposé, obstrua la gorge jusqu'à une cinquantaine de m. de hauteur. Avec leur débit automnal de 400 à 600 m³ par seconde, les eaux, arrêtées plusieurs jours jusqu'à former un lac d'une vingtaine de kilomètres de longueur, surmontèrent ce barrage momentané, l'emportèrent et inondèrent la vallée d'un flot terrible. Toute la terre arable au-dessus du glissement nord ayant été entraînée, l'irrigation fut supprimée sur ce point; aussi, après peu d'années, l'assèchement était-il devenu si complet, que tout mouvement avait pratiquement cessé. Le railway, qui traverse cet immense ébouli à 150 ou 180 m. en arrière du cours d'eau, a pu se maintenir sans embarras notable.

Par contre, sur l'ébouli sud, l'irrigation a été continuée depuis que le chemin de fer est venu s'asseoir sur lui; aussi le sol est-il demeuré instable. Les mouvements sont surtout marqués sur une portion centrale de 150 à 180 m. de longueur, où les eaux ont une tendance à se concentrer; les déplacements cumulés arrivent à environ 240 m. A mesure que des terres

tombent à la rivière, celle-ci les emporte. Quant à la voie, placée sur cette rive est ou sud-est à un niveau variable de 15 à 25 m. au-dessus de l'étiage, on est obligé de la ripper sans cesse et de réfectionner sa plateforme; malgré tout, deux trains de marchandises ont versé, et l'exploitation menace de devenir impossible. Des ennuis semblables se présentent à des degrés divers sur toute la série des autres glissements; et c'est surtout dans les mois de juillet, août et septembre que les déplacements de la voie s'accusent.

A Spence's Bridge, un glissement dû à la même cause que les autres, se produisit sur la rive occidentale, et traversant la rivière, vint ensevelir un cimetière indien situé entre cette dernière et la voie ferrée. A un certain moment, le sol de la ville d'Ashcroft menaçant aussi de s'ébranler, le gouvernement du Dominion dut racheter et résilier les fermages afin de sauver la localité.

La région d'Ashcroft se trouve sur la formation crétacée, à laquelle succède, au sud, la formation triasique, mais ce sont les dépôts glaciaires supérieurs qui sont cause des éboulements et qui atteignent de considérables épaisseurs dans les parties basses. La partie occidentale du Canada était anciennement couverte par le grand glacier des Cordillères sur une longueur pouvant atteindre 2000 km.; l'épaisseur était de 600 à 900 m. sur le plateau intérieur de la Colombie britannique et pouvait s'élever jusqu'à 1800 m. dans les vallées principales. Sur les mouvements d'avance et de retraite de cet immense glacier, le transport des moraines, les abaissements et les relèvements du sol, le lent dépôt des couches d'argile, leurs bouleversements, leurs ré-arrangements, leurs enlèvements par dénudation, la formation de grands lacs allant rejoindre l'océan, l'irruption de rivières se frayant des lits successifs et variables, les relèvements du sol, la formation de terrasses, les érosions, les modifications du climat, M. Stanton développe des considérations d'un haut intérêt et, dit-il, toutes ces actions variables durant les périodes glaciaires « sont presque entièrement responsables de la condition de la vallée du Thompson près du Black Cagnon. »

Cette grande gorge, creusée durant le tertiaire pliocène, fut d'abord remplie par le *boulder clay*. Lorsque la rivière s'y ouvrit un chenal, elle laissa en place de grandes quantités de cette argile au-dessus et au-dessous du Black Cagnon. C'est peut-être, pense M. Stanton, à l'est de ce cagnon et des deux pointes proéminentes dominant son extrémité orientale, que coulait l'ancienne rivière pliocène; lorsqu'elle fraya ultérieurement son second chenal, le courant fut rejeté à l'ouest, entamant les schistes et laissant une grande masse de *boulder clay* en arrière et à l'est. C'est ainsi que la rivière aurait formé au nord et au sud du Black Cagnon deux grandes baies érodées dans le *boulder clay* et partiellement recomblées par du *silt* blanc ou argile ré-arrangée, dans laquelle les eaux se tracèrent un troisième chenal sur une ligne plus directe.

Laissant de côté ces considérations spécifiquement géologiques pour nous borner à la question pratique de l'art du constructeur, nous aurons vite fait d'exposer pourquoi les glissements survenus dans ces parages sont d'ordre exceptionnel et ne semblent pas comporter d'autres remèdes que la suppression même des irrigations. C'est l'avis de l'auteur du mémoire;

c'est celui également des membres de l'Institution des ingénieurs anglais qui ont pris part à la discussion, et dont plusieurs ont manifesté leur étonnement de ce qu'on ait reculé devant cette détermination radicale, en ce qui concerne l'éboulement sud, où beaucoup d'argent a été dépensé en efforts aussi vains que répétés pour ramener et consolider la voie, alors que les terres cultivables de la région n'ont qu'une minime valeur de rachat. Ce reproche ne s'adresse pas aux ingénieurs du chemin Canadien-Pacifique; dès le principe et avec persistance, ils ont réclamé le rachat et l'abandon des fermes; c'est l'inaction gouvernementale qui est en cause, et l'on ne saurait dire si elle est attribuable à un esprit de fausse économie, à la négligence ou à des considérations politiques.

Cependant, rien ne prouve que les choses ne pussent se présenter sous des conditions différentes dans d'autres pays à coloniser et dans lesquels des terrains de nature semblable seraient rencontrés, terrains primitivement stables comme étant secs et arides, mais que des intérêts majeurs et des facilités d'adduction d'eaux porteraient impérieusement à mettre en valeur. Il se pourrait que tout militât en faveur du transport des eaux: délivrer de leurs ravages la région de provenance, où elles seraient surabondantes; féconder par elles un territoire nouveau; et quel ennui si ce double intérêt, défensif et agricole, se heurtait à des dangers d'un autre genre! Quel stimulant à trouver des palliatifs pour assurer, soit le maintien des champs cultivés, soit l'assiette de routes ou de voies ferrées! Malheureusement, la question est des plus difficiles. Limiter l'arrosage à l'épaisseur précise de la couche arable est plus aisé à dire qu'à réaliser. A l'inverse d'un réseau fluvial, un réseau de canaux d'irrigation, loin de grossir pour emporter des eaux à la mer, voit ses débits diminuer d'amont en aval jusqu'à extinction, par cela même que son office essentiel est encore plus de livrer que de transporter; mais là où il veut faire les deux choses à la fois, comment assurer la quote-part? En dehors de la conception chimérique de lits rendus étanches ou semi-étanches à tous les degrés, comment garantir que beaucoup d'eau ne pénétrera pas à la longue et ne séjournera pas indéfiniment dans les profondeurs d'un sous-sol poreux? Chercher à étancher des fossés d'irrigation, selon une image risquée par M. Stanton, c'est vouloir guérir la queue d'un chien en la coupant jusqu'aux oreilles. Et à défaut de prévenir la cause première du ramollissement des terres, comment arrêter le déploiement de ses effets mécaniques? Prétendre arrêter le mal ailleurs qu'à sa source n'est pas en question. L'origine du bouleversement à craindre étant en amont, on n'y remédiera pas par de simples travaux en aval. Que l'on exécutât, par exemple, un énorme mur de retenue au flanc de la tranchée de la voie ou du ravin de la rivière, le mur, à supposer qu'il soit inébranlable ou que la poussée ne soit pas irrésistible, ne fera tout au plus que retarder un peu l'invasion de la voie ou du fleuve par les décombres. Nous avons vu, en effet, que, du fait d'une liquéfaction souterraine grossissante, le sol tend à se niveler; les parties basses, voisines du mur, se soulèveront, le déborderont, se déverseront par-dessus sa crête et produiront autant d'obstruction que s'il n'existait pas.

Pour attaquer le mal à sa racine, songera-t-on à pratiquer

des galeries de drainage captant les eaux qui descendent des fossés d'irrigation? Abstraction faite de l'énormité des dépenses ce pourrait être fort bien si l'on avait affaire à un lit de glissement bien déterminé et stable, et sous la condition que les galeries y fussent solidement assises; car, si elles venaient à se fragmenter, elles deviendraient, non plus seulement inutiles, mais pernicieuses. Or, en plein gisement de *silt*, qui oserait se fier à de tels ouvrages fondés sur un terrain si prompt à devenir fluide? Un radier cimenté risquerait encore d'être circonvenu par les filtrations ambiantes. Laisser à nu le lit de la galerie pourrait venir à l'esprit, en raison du fait que l'eau courante conserve cette nature de terre, au lieu de la détremper; mais les eaux ainsi captées ne seront pas abondantes toujours; la plupart du temps, elles sourdront avec lenteur, elles ne formeront que des flaques stagnantes, en un mot des agents de liquéfaction, et au bout d'un temps plus ou moins long, l'aqueduc, au lieu de reposer sur le terrain solide, deviendra, par places, flottant en plein liquide.

Ajoutons, en ce qui concerne le Thompson, que d'après M. Robson, les crues printanières montent à 20 et même à 24 m. de hauteur; elles viendraient donc inonder les galeries dont le radier devrait être établi au niveau des basses eaux pour arriver à drainer le lit de glissement. Le *silt* paraît même descendre par endroits plus bas que la rivière. Il faudrait, d'autre part, des drains si rapprochés, qu'ils finiraient par former comme un véritable cellier sous toute la masse! Quant à une galerie circonscrivant l'éboulis à l'arrière, elle ne ferait probablement que hâter la descente des terres. C'est même là précisément le moyen qu'on emploie sur les grands bancs d'argile de l'île de Wight, dans le but d'entraîner en bas de grandes masses de cette terre, affectées à des destinations commerciales.

En résumé, — tout semble le démontrer, — il n'existait pas d'expédient connu et pratique pour prévenir les continuel et désastreux effets des glissements du Black Cagnon, en dehors de la suppression de toute irrigation sur une certaine zone en amont. Là où cette mesure décisive a été prise, le résultat ne s'est pas fait attendre; l'eau si aisément absorbée se draine tout aussi aisément et, au bout de quelque temps, la masse redevient ferme et solide.

On comprend, toutefois, qu'il reste nécessairement quelque chose de conjectural dans l'état réel d'un sol qu'on n'a pu explorer dans ses profondeurs. Il n'est donc point étonnant que quelques opinions divergentes se soient manifestées dans la discussion du mémoire de M. Stanton. C'est sans doute dans l'idée que la nappe aquifère n'a qu'une épaisseur limitée et repose sur un banc compact et sûr, que M. Hill conseillerait d'ouvrir une galerie partant de la rivière et poussée jusqu'en un point d'où elle se débrancherait en tous sens. Il évoque l'histoire d'un immense glissement de 800 m. de largeur qui eut lieu, il y a quarante-cinq ans, lors des travaux de l'alimentation d'eau de Manchester. Sur une consultation faite auprès de Robert Stephenson et de Brunel, l'ingénieur Bateman eut raison du mouvement en perçant un tunnel d'où partaient des galeries divergentes. Le colonel Pennycuik constate aussi le succès de certains conduits de drainage, mais d'une étendue limitée, dans des entreprises d'irrigation de l'Inde méridionale.

D'autres exemples sont cités, mais qui ne se rattachent plus aux mêmes conditions. Lors des terrassements entrepris pour le percement du Panama, le poids de dépôts de terre, déterminant un gigantesque mouvement latéral dans la largeur de la vallée, avait non seulement détruit des voies de service étagées, mais encore obligé à maintenir des équipes chargées de restaurer, après les passages de trains, le chemin de fer du Panama. M. Crowell a vu même, sur un point, ce genre de réfection se répéter deux fois dans la même journée, à huit heures d'intervalle.

MM. Horace et James R. Bell signalent pour sa vaste étendue, qui dépasse celle des glissements de la vallée du Thompson, un territoire mouvant situé dans l'Inde anglaise, vers la frontière du Beluchistan. Il ne s'agit pas là d'irrigations mais de conditions géologiques pernicieuses. Une ligne ferrée, reliant la station militaire de Quetta et la frontière afghane avec la vallée de l'Indus et le port de Kurrachee, traverse, à 1800 m. d'altitude, une vallée bien nommée *Mudgorge* (gorge de boue). Le terrain y consiste presque entièrement en schistes désagrégés, entremêlés de lits de gypse et d'anhydrites sujets à désintégration aqueuse, le tout superposé à du calcaire nummulitique. La masse poussant contre la rivière, il se produisait, sur une dizaine de kilomètres, de constants et gigantesques mouvements s'étendant à 1600 m. et plus en amont de la ligne, vers des hauteurs d'environ 3000 m. d'altitude. Dans les premiers âges géologiques, un massif calcaire de quelque 600 m. de hauteur formait une sorte de barrage soutenant un lac de boue d'une quinzaine de kilomètres de long sur cinq ou six de large. Ce barrage n'a pas cédé en bloc, mais il a été comme foré d'un tunnel par l'action de sources probablement thermales; et le toit du tunnel s'affaissant pendant que le lit s'approfondissait, la montagne s'est trouvée coupée en deux par la fameuse fente Chappar, l'un des plus remarquables cagnons longés jusqu'à ce jour par une voie. La vallée *Mudgorge* actuelle est le résultat de l'érosion d'un torrent qui entraîne l'argile à travers la fente; le lit du cours d'eau subit des alternances de soulèvement et de dépression sous la poussée des versants et les fluctuations de la nappe liquide. Des glissements interminables tourmentent cette vallée, qui peut avoir maintenant 900 m. de profondeur et 5 kilomètres de largeur. On n'a pas trouvé encore d'autre expédient que de surveiller la place et dévier la ligne chaque fois qu'elle est coupée, cela en renforçant les pentes, en raccourcissant les rayons jusqu'à 90 m., et en drainant d'ailleurs les talus. Le sol se tassant par delà les vallées qu'occupe le railway, cette partie des plateaux Suleiman abonde en crevasses, même plus grandes que celle du Chappar, et sans doute aussi en gorges boueuses non moins mobiles. Les désordres dont cette région est affligée sont attribués par M. J. Bell à de simples glissements, et non à des oscillations de la surface du sol sur des nappes liquides souterraines. Il inclinait à croire qu'il en est de même en ce qui concerne les glissements colombiens.

M. Vernon-Harcourt, qui a voyagé en 1897 sur le Canadien-Pacifique, y a remarqué d'autres points où des glissements s'étaient produits; ainsi, sur une pente montante des Selkirks, avant d'atteindre le Roger's Pass, on essayait de consolider

quelques parties d'un grand glissement dans un ravin escarpé au-dessus du chemin de fer en y dirigeant un courant d'eau, comme dans quelques endroits on avait consolidé des remblais par le même principe. On sait, en effet, que l'eau est un puissant agent compresseur des terres, qui se raccornissent après lavage, par la dessiccation.

La portion du *Canadian Pacific Railway* comprise entre Donald et Vancouver ne comprend pas moins de 1900 ponts, dont quelques-uns sont posés à plus de 60 m. de hauteur et dont d'autres atteignent trois kilomètres de long. On eût trouvé un tracé beaucoup plus aisé en se portant davantage au nord, mais des motifs politiques s'y sont opposés. Topographiquement, c'est la plus rude et raboteuse contrée du monde, avec d'épaisses forêts présentant des arbres de 60 à 90 m. de hauteur, et des accumulations séculaires de bois mort rendant ardu à l'extrême les travaux de terrassement. En revanche, le climat est délicieux.

CONCOURS D'ARCHITECTURE

ETAT DE VAUD

Bâtiment d'administration, à Lausanne.

(*Policlinique universitaire, laboratoires, auditoires divers, etc.*)

(Planches Nos 12 et 13.)

Ce concours, ouvert du 8 février au 15 mai dernier, a réuni seize projets, dont quatorze ont été retenus par le jury et deux ont été écartés.

Le jury a décerné cinq prix. Les planches 12 et 13 montrent les deux projets primés en premier, *ex-æquo*, présentés l'un par MM. Mauerhoffer et van Dorsser et l'autre par MM. Bezenenet et Girardet.

Le Conseil d'Etat a adopté le premier de ces deux projets mais a chargé de l'exécution l'auteur des deux projets classés 4^{me} et 5^{me} par le jury¹.

Nous reproduisons ci-dessous le programme du concours et les parties essentielles du rapport du jury.

Programme.

A. Conditions générales.

Le Département de l'Agriculture et du Commerce, service des bâtiments de l'Etat, ouvre un concours entre les architectes

¹ Cette décision est déconcertante, elle rompt avec les règles généralement admises par les administrations publiques : écartant des ambitions légitimes, *sans motif et sans compensation*, elle affaiblit l'utile institution des concours d'architecture.

L'article 9 du programme mettait les projets primés à la discrétion de l'Etat et le projet adopté n'a valu à son auteur qu'une rémunération dérisoire, très inférieure à sa valeur intrinsèque. Le prix de 800 francs ne représente, en effet, que le quart des honoraires d'un architecte applicables à une étude de cette nature, qui tient le milieu entre une esquisse ou avant-projet et un projet définitif. (Cube enveloppé : 16 507 m., prix de base 25 fr. le m. cube, coût présumé 413 000 fr. Honoraires 0,008 × 413 000 fr. = 3 300 fr.)

A ce propos, rappelons ceci :

En 1887 la *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes* a proposé aux administrations publiques un programme intitulé : *Principes généraux concernant l'organisation des concours d'architecture*. Fruit de longues années d'expériences, ce programme vise à faire rendre au système tout ce qu'il peut donner, en conciliant équitablement les intérêts en cause; il a été pris en considération à peu près partout en Suisse. La Société vaudoise l'a fait traduire et l'a adressé en 1888 aux autorités cantonales et communales vaudoises, accompagné d'un rapport de M. l'architecte Recordon, en exprimant le vœu que les principes énoncés fussent appliqués dans l'avenir. (Voir le texte du règlement et du rapport : *Bulletin*, année 1888, pages 89 à 95.)

(*Note de la Rédaction.*)

suisses ou établis en Suisse pour l'étude d'un bâtiment à édifier à « la Solitude, » à Lausanne, devant recevoir les services de la *Policlinique universitaire* et du *Contrôle des boissons et denrées*, la *Station laitière*, les *Laboratoires et auditoires de zoologie, d'anatomie comparée et de minéralogie*, ainsi que les *Cabinets des professeurs d'hygiène et de médecine légale*, conformément aux conditions suivantes :

1° On demande :

- a) Les plans de chaque étage à l'échelle du $\frac{1}{200}$;
(Le plan du premier étage comprendra toute la surface du terrain et tiendra lieu de plan de situation.)
- b) Le plan de la façade principale sur la rue au $\frac{1}{100}$;
- c) Les autres façades au $\frac{1}{200}$;
- d) Les coupes nécessaires à l'intelligence du projet au $\frac{1}{200}$;
- e) Le cube exact du bâtiment pour servir à l'établissement du devis. Ce cube sera compté du sol inférieur au-dessus de la corniche de toiture. Les attiques ou autres motifs d'architecture dépassant cette corniche seront cubés à part, de même que les constructions annexes.

Les concurrents ne doivent pas s'écarter des échelles indiquées et limiter les dimensions de leurs dessins.

2° Les projets seront rendus au *Service des bâtiments de l'Etat*, à Lausanne, au plus tard le 15 mai 1898. Ils seront expédiés, bien emballés et affranchis, avec la désignation : *Concours pour l'édifice cantonal de la Solitude*, à l'adresse ci-dessus. Tout projet parvenu après ce délai ne sera pas pris en considération.

Le jury pourra néanmoins statuer sur la réception des projets arrivés accidentellement en retard, mais consignés en temps utile.

3° Chaque projet portera une devise ou un signe distinctif.

Les concurrents joindront à leur envoi une enveloppe cachetée contenant leur nom et leur adresse exacte, et ne portant à l'extérieur que la devise ou le signe distinctif de leur projet.

4° Le jury nommé par le Conseil d'Etat du Canton de Vaud pour l'examen du résultat de ce concours se compose de :

MM. Châtelain, architecte, à Neuchâtel; Falconnier, architecte et préfet, à Nyon; Seiler, chimiste, chef du contrôle des boissons et denrées, à Lausanne; Melley, professeur et architecte, à Lausanne.

Le jury sera présidé par M. le Conseiller d'Etat Viquerat, chef du Département de l'Agriculture et du Commerce.

Les membres du jury ont accepté leur mandat et, après discussion, ont adopté le présent programme de concours.

5° Le Conseil d'Etat a mis à la disposition du jury la somme de *trois mille francs*, pour être répartie en primes entre trois projets au minimum.

Le jury est chargé de fixer le nombre des projets primés, ainsi que le montant des primes.

6° Après leur classification par le jury, tous les projets seront exposés publiquement à Lausanne pendant une semaine au minimum.

7° Le verdict du jury sera publié. Un exemplaire du rapport sera communiqué à chaque concurrent qui en fera la demande au « Service des bâtiments de l'Etat, à Lausanne. »

8° Sitôt l'exposition publique close, les projets non primés devront être réclamés par leurs auteurs. Quatre semaines plus tard, le Chef du service des bâtiments de l'Etat aura le droit d'ouvrir les enveloppes des projets non réclamés, et les renverra franco à leurs auteurs, suivant l'adresse renfermée dans l'enveloppe.

La dite administration sera dégagée de toute responsabilité en cas de non réclamation dans le délai fixé ci-dessus ou d'adresse insuffisante.