

Zeitschrift:	Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band:	24 (1898)
Heft:	8
Artikel:	Études préliminaires pour chemin de fer dans les Cagnons du Colorado
Autor:	Gaudard, Jules
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-20340

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 05.02.2026

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

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT A LAUSANNE 8 FOIS PAR AN

Administration : Place de la Louve.
 (GEORGES BRIDEL & C^{ie} éditeurs.)

Rédaction : Rue Pépinet, 1.
 (M. A. VAN MUYDEN, ing.)

Volume V

Sommaire : Etude préliminaire pour chemin de fer dans les Cagnons du Colorado, par Jules Gaudard, professeur à l'Ecole d'ingénieurs, à Lausanne. — Les matériaux de construction suisse, par A. Gremaud, ingénieur en chef des ponts et chaussées du canton de Fribourg. — Association suisse des électriciens : Prescriptions concernant les inspections de l'inspecteur technique des installations électriques. — Nécrologie : Louis Gonin. — Bibliographie.

ÉTUDES PRÉLIMINAIRES POUR CHEMIN DE FER

DANS LES CAGNONS DU COLORADO

par JULES GAUDARD,
 professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne.

Antérieurement à la présentation aux ingénieurs anglais de son mémoire de 1897 sur les éboulis de la Colombie britannique¹, M. l'ingénieur Stanton avait fait, en 1892, une communication à la Société américaine des ingénieurs civils sur les expéditions dirigées par lui dans les cagnons (gorges) de la rivière ouest du Colorado, en vue de démontrer la possibilité et les avantages de la création d'une ligne ferrée dans ce profond sillon naturel. Nous croyons intéressant de donner quelques extraits de ce compte-rendu modeste d'une excursion héroïque, dans laquelle a été déployé un extraordinaire esprit d'initiative et d'intrépidité.

Suivre de près le cours d'un fleuve dans un tracé de chemin de fer est certainement une idée toute naturelle ; elle offre les probabilités d'obtenir les pentes douces qui conviennent à ces voies rapides de communication ; cependant, dans l'espèce, on pouvait taxer de téméraire l'idée de s'engager dans les contournements bizarres de ces gorges presque infranchissables que s'est taillées un fleuve fougueux et périlleux, semé de rapides et de cataractes. La question avait commencé à être discutée après une exploration faite par le major Powell en 1869. Dès lors eurent lieu plusieurs tentatives de descendre le Colorado en bateau, jusqu'à l'expédition que M. Stanton sut mener à bonne fin et qui, commencée à la station de Green River, Utah, le 25 mai 1889, fut poussée jusqu'au débouché dans le golfe de Californie, Etat mexicain de la Sonora, le 26 avril 1890.

La rivière Colorado de l'ouest est formée par la réunion des rivières Grand et Green. En considérant cette dernière comme branche principale, le cours dépasse 3200 km. On compte, en nombre rond, 1900 km, depuis le golfe jusqu'à Grand Junction, point où la rivière Grand est croisée par le chemin de fer de Denver et Rio Grande.

Au point de vue de l'examen pour un tracé de chemin de fer,

le fleuve du Colorado comprend : — la division basse, allant de l'embouchure au Grand Cagnon, en un point situé à 60 km. à l'est du Rio Virgin et proche de la frontière orientale de l'Etat du Nevada ; — puis la division supérieure, qui s'étend de la bouche du Grand Cagnon à la ville de Grand Junction, Colorado. La configuration générale du pays présente une suite de terrasses et de hauts plateaux de 1200 à 3000 m. d'altitude, avec quelques pics plus élevés, s'étendant de l'ouest jusqu'au Grand Wash ou extrémité du Grand Cagnon ; en-dessous de ce point, la surface s'abaisse considérablement.

La période glaciaire a été ici essentiellement pluvieuse. Le double processus de l'érosion et des intempéries a suivi son cours d'âge en âge. A certaines époques, des torrents de lave ont partiellement comblé la gorge principale, mais les masses d'eau ont une seconde fois creusé le chenal, et aujourd'hui la merveilleuse rivière gronde au fond d'un stupéfiant couloir de 1 1/2 à 21 km. de large en haut, et d'une profondeur de 300 à 1900 m. en-dessous du niveau général du pays, que recourent encore des gorges latérales de 800 à 1600 m. de profondeur. Sur la longueur nivellee, la rivière présente 1370 m. de chute totale et renferme, sur moins de 800 km., 520 rapides, cataractes et chutes. Les flancs des cagnons se sont creusés plus ou moins abrupts selon la dureté des roches ; dans le Grand Cagnon, où la profondeur va de 900 à 1900 m., la largeur en haut est de 10 à 21 km.

Au printemps de 1889, la Compagnie du Denver, Colorado Cagnon and Pacific Railway fut organisée dans le but de faire un relevé préliminaire depuis Grand Junction jusqu'au golfe de Californie, en descendant le courant de l'eau. Le promoteur du projet, M. Frank M. Brown, président de la Compagnie, accompagna en personne le corps des ingénieurs dans la première et malheureuse campagne où il devait trouver la mort. Le levé de la Grand River, depuis Grand Junction, avait déjà été fait par M. Frank Kendrick ; il suffisait dès lors de partir du confluent, et il était plus facile d'atteindre ce point par la Green River, où il n'y avait qu'un seul mauvais rapide à franchir. Les six bateaux équipés et approvisionnés partirent le 25 mai de la station de Green River avec les seize hommes dont se composait l'expédition ; chacun avait sa spécialité de travail, sans oublier le cuisinier, mais tous étaient exercés au

¹ Voir le précédent numéro du *Bulletin*.

maniement de la rame : apprentissage indispensable assurément; toutefois, pour de nouvelles expéditions de cette nature, montées sur un plus grand pied, il serait à propos de s'assurer à tout prix le concours de mariniers expérimentés, tels que ceux qui, sur la branche occidentale de l'Hudson, parcourent au printemps les rapides d'entrée et de sortie d'un étroit cagnon à parois verticales situé près de Johnsburg. Conduire de légers canots en de tels courants est un art à part, auquel seuls sont familiarisés ceux qui pratiquent les torrents de montagne.

Les instruments, — théodolites, niveaux, mires, chaînes, — étaient en doubles; il en était de même des appareils photographiques; car, — et ce fut là un trait spécial de ces études, — un photographe avait été jugé à bon droit indispensable, dans une région si peu accessible, pour compléter et illuminer un travail destiné, non seulement à des ingénieurs, mais aussi à des capitalistes. Malheureusement, en cours d'opération, des désastres survinrent; les bateaux étaient défectueux et eurent tous des avaries; deux furent perdus, ainsi que la plus grande partie des provisions; la famine menaçait, les défactions avaient commencé malgré des tentatives de réapprovisionnement et des prodiges de persévérance chez la plupart; aussi, lorsque le président Brown le 9 juillet, puis deux bateliers le 15, se furent noyés au passage de rapides, force fut bien de battre en retraite. Les instruments et ce qui pouvait rester d'objets utiles furent cachés dans une grotte à 65 km. en aval de Lee's Ferry; grimpant avec peine hors de la gorge, les hommes atteignirent un établissement mormon, et le 27 juillet ils furent de retour à Denver.

Il ne s'agissait point pour eux d'abandonner définitivement leur rude entreprise; ils s'étaient promis de la reprendre bientôt avec un plus robuste outillage naval. Trois bateaux submersibles furent construits avec compartiments étanches bordés de tôles galvanisées. Comme l'a fait remarquer M. Foster Crowell, lors de la discussion du mémoire, des coques d'acier semblables à celles du canal du Nicaragua, eussent été préférables encore, comme réunissant au plus haut degré la légèreté à la résistance sous les coups les plus violents. On adopta les dimensions de 6^m70 sur 1^m30, avec 0^m56 de profondeur. Le bateau, muni de deux paires de rames et d'un long aviron pour gouverner, n'est ouvert que sur sa partie centrale; de chaque côté règne un rebord intérieur longitudinal de 0^m15 de large, et les deux extrémités, identiques de forme, sont entièrement pontées sur 1^m05 de longueur. Sur les flancs extérieurs courent des cordes de sauvetage; à l'une des extrémités est fixée une corde de 15 m., à l'autre une de 6 m. et une de 75 m., cette dernière particulièrement destinée à faire traverser à l'embarcation, en la retenant de la rive, certains rapides périlleux. Rien n'était oublié dans l'équipement : outils de charpentier, clous, vis, étoupes, poix, feuilles de cuivre pour réparations; provisions et vêtements dans des sacs de caoutchouc doublés de toile; literie, médecines, fusils et munitions; vivres pour quatre mois; le riz, le sucre et le café dans des sortes de barils; les conserves et les viandes salées si bien enfouies avec la faïence sous un faux-fond, que rien ne se fût perdu dans un chavirage. Assortiment photographique des plus complets, avec deux cameras; boîtes d'étain à

soudure pour conserver les feuilles, les doubles confiés à un deuxième bateau; théodolites, niveaux, mires, baromètre et thermomètre; ceintures de sauvetage devant être en permanence portées par les hommes, tant qu'ils seraient sur l'eau. Tout équipé, chaque bateau portait un chargement de 1450 kilog., plus quatre hommes; avec les trois bateaux, l'escouade primitive se montait ainsi à douze collaborateurs, dont sept seulement traversèrent les cagnons sur la fin du voyage; quatre avaient quitté le travail; un bateau avait été perdu; le photographe, qui s'était cassé la jambe, dut être laissé à Lee's Ferry. C'est M. Stanton lui-même qui, non sans anxiété dans son inexpérience, dut se charger de prendre dès lors environ 1200 négatifs avec la camera, et cela sans qu'il fût à même de les voir développés, cette opération étant ajournée pour être faite après le retour à Denver; heureusement, 10% à peine de ces vues ont laissé à désirer pour la clarté, tout en conservant encore une réelle utilité.

En somme, cette seconde expédition atteignit pleinement son but. Pour éviter d'inutiles fatigues dans le cagnon «Cataract» les bateaux avaient été voiturés sur les 190 km. s'étendant de la station de Green River au confluent du Crescent Creek, à 6 km. en amont de Dandy Crossing. Embarqués le 10 décembre 1889, les opérateurs atteignirent le Diamond Creek le 1 mars de l'année suivante; le 17 du même mois, ils sortaient du Grand Cagnon; le 26 avril ils achevaient leur travail jusqu'au golfe, et enfin, retournant à Yuma, se débandaient le 30 avril. Prises ensemble, les deux expéditions avaient parcouru en bateau plus de 2250 kilomètres, franchi 520 rapides et passé victorieusement à travers les sombres défilés d'une des plus turbulentes rivières du monde.

Voici maintenant quelques indications sur les méthodes de travail. Le lecteur n'oubliera pas qu'il s'agissait uniquement d'une reconnaissance du terrain, avec mesurages sommaires, en vue de pouvoir certifier la possibilité d'un tracé de chemin de fer, expliquer comment se ferait le passage en chaque point, sans prétendre fournir des cubages précis. Le travail sortait tout à fait des conditions ordinaires; en maintes parties, il était bien permis de se dispenser de beaucoup de mesurages qui sont usuels dans les levés; en revanche, une foule de notes d'un caractère tout spécial étaient à prendre.

Des cartes de la Commission géologique du Gouvernement indiquaient le cours général et la longueur de la rivière, ainsi que sa chute par sections, et fournissaient encore d'autres informations générales. Ce qu'il fallait obtenir de plus, c'était le détail des alignements et des pentes, puis la spécification de la nature des matériaux des rives, en se livrant à une inspection attentive des 30 à 60 m. inférieurs des escarpements. Plus de 970 km. de ligne d'opération ou «ligne de transit», suivant le terme anglais, furent étudiés. Ce genre de travail s'exécutait en tous les points où il y avait à prévoir quelque gène de courbure, tandis qu'on s'en dispensait là où de longues étendues de la rive présentaient une allure plus rectiligne. Les mesurages s'effectuaient à la stadia et par triangulation. Alentour des lignes de transit on esquissait un modèle topographique; des cotes de niveau étaient levées seulement aux endroits où, soit des rapides de la rivière, soit des coudes à couper, soit de brusques relèvements du sol, mettaient en question les

déclivités admissibles. Dans les parties où la rive devenait impraticable pour les opérateurs, ils en étaient réduits à s'aider de leurs embarcations. Au droit des forts rapides, dont le passage par les bateaux constituait à lui seul une suffisante difficulté à vaincre, l'habitude était de mener ceux-ci en avant en lieu sûr, puis d'établir un campement à terre et de remonter sur la longueur de rive correspondante. Dans des portions unies de la rivière, telles qu'en présentent le Narrow Cagnon, tout le Glen Cagnon et le cours inférieur, un bateau transportait en avant un assistant porte-signal; un second bateau conduisait à son poste le « transitman » ou viseur au théodolite; le troisième bateau, enfin, était au service du topographe ou d'autres travailleurs. Des visées d'arrière étaient prises à tous les tournois. Dans le cas où l'on ne pouvait disposer que d'un bateau on procédait à certaines triangulations. Trois fois par jour, on enregistrait les lectures du baromètre et du thermomètre. Aux chiffres résultant de l'emploi des instruments divers venaient s'ajouter des notes de toute sorte, des descriptions de la rive appuyées de photographies numérotées, des croquis à vue de coupes transversales, la mention des pontceaux nécessaires, la description générale du pays en tout ce qui pouvait toucher soit les conditions du tracé, soit la construction et l'exploitation du chemin de fer. Toutes ces notes innombrables remplissent 2600 pages.

Sans entrer dans des cubages, on donnait du moins une classification en espèces ou catégories de travaux; par exemple : — terrains de niveau; — pentes douces; — coteaux fortement inclinés; — pentes rocheuses; — rochers en banquettes; — escarpements à pic; — fortes tranchées dans le roc; — hauts remblais; — tunnels et demi-tunnels. Il est à croire que cette classification, avec l'aide de nombreuses photographies, suffit à procurer une nette définition de la nature des travaux et, ajoute M. Stanton, c'est la première fois, sans doute, que la camera du photographe aura joué pareil rôle, aura apporté son évidence lumineuse et indiscutable dans des explorations ou levés préliminaires pour chemin de fer, et cela en une contrée jusqu'alors presque inconnue, en un pays plein d'embûches où l'on ne s'aventurerait pas sans risquer d'en revenir estropié ou d'y laisser ses os. Les vues photographiques étaient prises en nombre tel, qu'elles pussent figurer à peu près un panorama continu des rives et des flancs des cagnons depuis la tête du Colorado jusqu'au golfe de Californie. Dans les points les plus difficiles, elles se rejoignent sans laisser échapper aucun détail. Dans les parties plus faciles et, notamment, dans le cours inférieur de la rivière, elles ont été relevées à des espacements plus ou moins considérables. L'assortiment complet comporte environ 2200 négatifs, la plupart en double, quelques-uns en triple, et aucun n'a été perdu dans les péripéties du voyage. Un millier de vues différentes ont été ainsi assurées pour illustrer la route; arrangées avec ordre, repérées sur les cartes avec références aux notes, leur valeur est telle qu'elles doivent, dans l'opinion de M. Stanton, non seulement convaincre de la praticabilité du projet, mais, avec le concours des autres documents, permettre à des ingénieurs familiarisés avec les tracés en montagne, d'énoncer un devis approché des travaux. Emettons cependant, sur le degré d'une telle approximation, les plus larges réserves.

Le colossal mécompte sur l'évaluation des dépenses de la ligne du Gothard ou d'autres tracés de moindre envergure, tels que celui de la route de Klausen (Uri), sert de sérieux avertissement sur la nécessité d'études approfondies avant de se lancer dans l'exécution de travaux de montagne.

Au pied de ces gorges perdues du Colorado, une préoccupation continue obsédait l'esprit de l'ingénieur dirigeant : c'était la crainte d'omissions ou d'erreurs. Lorsqu'il travaillait naguère dans les Montagnes-Rocheuses, il lui était possible, avec une journée de reprise et quelque pénible escalade, de réparer une faute, mais ici, dans ces redoutables défilés, sur cette rivière foudroyante impossible à remonter, et durant cette saison hivernale où, tandis que les fleurs sauvages s'épanouissaient au fond de la vallée, le plateau supérieur restait couvert d'un à deux m. de neige, comment s'exposer à perdre de vue les bateaux et les provisions, alors que le spectre hideux de la famine guettait les intrépides explorateurs?

A l'intérieur de cluses rocheuses, la vue n'est guère gênée que par le contournement des berges. Dans d'autres régions, il peut se faire qu'une végétation touffue désoriente bien plus encore les opérateurs et leur impose d'autres genres de souffrances. Sur les escarpements de la Serra do mar du Brésil, il fallait entailler, dans des forêts impénétrables, des sortes de galeries obscures, où ne pouvaient s'utiliser que la boussole et l'anéroïde; et sous des pluies tropicales, on n'avait pour abris que de chétives huttes improvisées, couvertes de feuilles de palmier.

Nous n'avons pas à suivre M. Stanton dans les détails locaux qu'il fournit concernant son projet de railway du Colorado. Bornons-nous à quelques mots. La partie supérieure se répartit en cinq divisions :

1. Division de <i>Grand River</i> , de Grand Junction à la tête du Colorado	225 km.
2. <i>Cataract and Narrow Cagnons</i> , jusqu'à Dandy Crossing	87 »
3. <i>Glen Cagnon</i> jusqu'à Lee's Ferry	252 »
4. <i>Marble Cagnon</i> jusqu'à Little Colorado . . .	101 »
5. <i>Grand Cagnon</i> jusqu'à Grand Wash . . .	350 »
	1015 km.

La partie inférieure, du Grand Wash au golfe de Californie, mesure 655 km., ce qui porte la longueur totale à 1670 km. Dans le Glen Cagnon, une réduction de 30 km. serait possible, ce qui réduirait la longueur totale à 1640 km. Cette variante — susceptible de s'appliquer aussi en d'autres points — provient de ce que, dans une partie sinuose du fleuve, on peut avoir à opter entre un tracé qui suit la courbe du rivage, soit entièrement à ciel ouvert, soit avec un ou deux petits tunnels recoupant des contreforts, et un tracé raccourci s'enfonçant par un long souterrain dans le cœur de la montagne. Cette seconde solution aura peut-être le plus de chance d'être préférée dans des régions aussi tourmentées. Dans le Glen Cagnon, le cours serpentueux du fleuve est bordé de rives à larges parties plates, à l'abri des mondanies; plus en arrière se dressent des parois de grès rouge surmontant un large talus de roches brisées. La grande largeur des eaux réduit ici à un minimum de 2 à 9 m. la différence des niveaux d'étiage et de crues; alors que, sur le parcours des Cataract et Narrow

Cagnons, cette même différence varie de 7^m50 à 18 m. et même davantage dans les endroits resserrés, et que, dans le Marble Cagnon, elle va de 12 à 29 m. Toutefois, les rochers qui étranglent les gorges sont généralement recoupés de banquettes où la voie trouvera à s'établir sans difficultés sérieuses en dehors de l'atteinte des crues. A Point Retreat, vers le milieu du Marble Cagnon, la rivière tourne brusquement à gauche, puis à droite; la paroi de marbre monte là à 90 m. de hauteur, tandis que le grès fait gradin en arrière et, par des talus et récifs, s'élève à 750 m. Juste après ce point, le cagnon a son minimum de largeur, 120 m. de mur à mur. Le marbre monte brusquement en escarpements perpendiculaires de 200 à 240 m., avec des amas de roches formant de petites banquettes ou des talus de soubassement. La voie aurait à traverser Point Retreat en tunnel de 1600 m., à franchir la rivière par un pont d'une seule ouverture, puis à s'enfoncer sur la rive opposée par un tunnel plus court que le précédent. Il y a là 16 km. qui seront peut-être les plus coûteux de toute la ligne.

Plus loin s'étale le Grand Cagnon du Colorado, déclaré par ceux qui l'ont vu le plus sublime des spectacles terrestres. Le fait est qu'il n'existe guère de gorge plus grandiose sur la face du globe. Toutefois, le fait qu'une rivière s'est ouvert à travers les monts Kaibab une trouée de 1500 à 1800 m. de profondeur et de 10 à 20 km. de largeur dans le haut, n'a rien pour empêcher qu'on n'y installe le mince ruban d'un railway. C'est d'ailleurs à peine sur les 60 m. inférieurs que le tracé pourra avoir à tâtonner sa meilleure direction. La structure, principalement granitique dans les parties basses, affecte une allure d'abord verticale, puis fortement inclinée, irrégulière, et comme hérissee de contreforts et de tours. Plus en aval, on voit les affleurements de grès et de calcaire s'abaisser jusqu'au niveau de l'eau. Le fond de la gorge, dans ses parties étroites, mesure 45 à 60 m. de largeur; la rivière y court entre des murailles verticales de 24 m., que surmontent des escarpements inclinés jusqu'à plus de 600 m. au-dessus de l'eau. En descendant encore le fleuve, on arrive, sur une trentaine de km. de développement, à une banquette calcaire continue, dominant de 9 m. le niveau des crues, et dont la largeur de 15 à 18 m. sera susceptible d'être occupée par les rails, quitte à percer quelques arêtes courtes et aiguës.

Dans un rétrécissement dû à une formidable pointe de granit, la falaise se dresse verticalement sur 150 à 180 m. de hauteur, et cela sur un long contour de la rivière; il ne paraît pas qu'on puisse tourner ce point autrement que par un demi-tunnel d'environ 800 m., la roche étant du reste saine et compacte.

Au sortir du Grand Cagnon, on arrive à la division inférieure ou de vallée, dans laquelle les collines ont des pentes adoucies. Depuis les rochers du Grand Wash, le pays s'est trouvé abaisssé à un niveau beaucoup inférieur par l'effet du drainage d'un lac préhistorique. Par places encore, la granite se relève sur les bords de la rivière, formant comme un certain nombre de courts cagnons à murailles basses et boisées. En deux points, en tête des Boulder et Black Cagnons, les berges se dressent verticalement et nécessiteront quelques courts tunnels, afin de ne pas obstruer la rivière, qui est navigable pour de grands steamers dès son embouchure jusqu'au Rio Virgin.

Si l'on ne pouvait entreprendre la construction de la ligne

dans les gorges qu'en l'attaquant par les deux bouts, ce serait augmenter beaucoup et la durée et le coût d'exécution. Heureusement, il ne sera pas difficile, en créant quelques liaisons et améliorant certains accès, de se procurer au moins une quarantaine de chantiers opérant simultanément. Les chutes de la rivière donneront tout excès de force motrice désirable pour actionner des perforatrices et autres machines. En aucun point de la ligne, paraît-il, il ne sera nécessaire de dépasser la pente de 5 pour mille, et les courbes sont présumées ne pas devoir descendre au-dessous de 175 m. Il semble en vérité que ces défilés formidables ont fendu les monts dans le but exprès de livrer un passage à pente douce; mais encore fallait-il un esprit hardi pour s'aventurer à une étude que plusieurs taxiaient de visionnaire.

Sur quelques kilomètres, le surplombement des berges pourra obliger à poser la voie sur un remblai d'enrochements dans le lit même du cours d'eau. C'est assurément un parti auquel on ne se résignera que là où la nécessité en sera manifeste; d'ailleurs, aux points en question, la nappe liquide est large et le courant est peu rapide. Une circonstance aussi à noter, c'est l'absence presque totale de cônes d'éboulement, si dangereux à traverser. Certains talus qui, à première vue affecteraient cette apparence, ont en réalité un solide corps de roches stratifiées en place, que recouvrent seulement quelques débris mobiles; il suffira donc de déblayer ces derniers pour assurer à la voie une assiette irréprochable.

Quant aux affluents du Colorado, là où celui-ci est très encaissé, ils arrivent la plupart par des couloirs étroits, que franchiront des arches de 45 à 30 mètres.

Un avantage important pour l'entretien de la voie et pour le trafic, c'est l'absence presque complète de neige et de fortes gelées dans la profondeur des cagnons. Durant l'hiver de 1889-1890, un de ceux cependant où les lignes trans-continentales à travers les monts occidentaux ont été, à fréquentes reprises, bloquées par l'enneigement, l'expédition de M. Stanton n'eut à subir que deux heures de tourmente de neige, alors que le plateau supérieur demeurait enseveli sous un blanc linceul de 0^m90 à 1^m80 d'épaisseur. Un chemin de fer dans le ravin du Colorado offrirait donc pour les transports hivernaux une véritable supériorité sur toute autre ligne traversant le pays depuis les Montagnes-Rocheuses jusqu'à la côte du Pacifique.

M. Stanton développe, enfin, les considérations propres à faire espérer pour le chemin projeté un rendement rémunérateur. Selon lui, un trajet aussi étendu, susceptible d'être exploité électriquement par la force même qui a creusé ces puissants cagnons, les exigences d'un commerce transcontinental au point de vue de la célérité des transports et de l'abaissement du fret, la faiblesse des pentes, la faveur des conditions climatériques, l'abondance de l'eau, l'impulsion donnée au trafic local, les attractions enfin de cette nature grandiose et sauvage, tout cela peut promettre de beaux dividendes sur un coût même fort élevé de construction, tandis que les lignes transmontagneuses supérieures ne sauraient trafiquer aux mêmes prix et entrer en compétition.

Il faut pourtant signaler les objections qui peuvent venir à l'esprit.

On peut craindre, dans des régions partout bordées de parois

abruptes, que les trains ne soient souvent incommodés ou menacés par des chutes de pierres roulantes. A cela M. Stanton répond que l'inconvénient ne sera vraisemblablement pas plus formidable en ces lieux qu'il ne l'est sur des centaines de kilomètres exploités dans les Montagnes-Rocheuses. M. Sears, par contre, mentionne quelques faits précis et intéressants. Outre les débris dont l'instabilité tient à des causes naturelles, il en est qu'un emploi injudicieux des explosifs a détaché des surfaces rocheuses. Dans le cagnon du Rio Santa du Pérou, les premiers rayons du soleil, venant à dilater la pierre, font tomber des esquilles qui, elles-mêmes, en entraînent d'autres sur leur passage; aussi, pour échapper à une salve dangereuse le promeneur matinal est-il réduit à cette alternative, ou d'accomplir sa course avant le lever de l'astre, ou de ne se mettre en route qu'une heure ou deux après que la chaleur s'est bien établie. Si l'on a trop chargé les trous de mines, une grande quantité de roche se fissure, et la négligence à enlever ces fragments expose pour un long temps, à des dégâts le service de l'exploitation.

Voici encore une autre cause d'éboulement de pierraille sur les escarpements ou les talus graveleux, cause contre laquelle on ne sait pas de garantie. Comme un train de voyageurs descendait la vallée, le mécanicien, apercevant un bloc tombé sur la voie, donna un coup de sifflet pour la commande des freins; à l'instant même s'abattit et rebondit une volée de débris, qui brisa toutes les vitres d'une voiture à neuf panneaux; les voyageurs épouvantés se réfugièrent sous la voiture. Il n'est pas rare que, d'une manière semblable, un roulement de pierres sur un talus donne réponse au sifflet de la locomotive.

Un accident bien insolite se produisit, toujours sur cette ligne péruvienne, au campement des ingénieurs à Huaurachiri. Le camp était sur la plaine basse et la maison de l'ingénieur à une soixantaine de mètres de la rive de la Santa, le long de laquelle gisent des blocs épars de 1 à 3 m. de diamètre, avoisinant les huttes des servants et le hangar des approvisionnements. Il n'était pas douteux que ces pierres avaient roulé des coteaux de la rive opposée et, rebondissant contre le pied des rochers, avaient acquis une impulsion suffisante pour franchir le cours d'eau. Or, une nuit, un bloc de 1^m5 à 1^m8 de diamètre descendit des hauteurs, vint ricocher sur l'un des quartiers de roc de la rivière, sauter par-dessus le camp des employés, crever le toit de l'ingénieur et s'enfoncer dans sa chambre.

M. Nichols dit que la ligne de l'Oroza supérieur, dans le Pérou, est exposée aux roulements de pierres, mais a pourtant échappé à des accidents fatals, bien qu'une locomotive ait reçu un bloc d'environ demi-tonne, qui abîma la cabine et le levier de manœuvre, sans tuer le mécanicien ni le chauffeur, qui étaient gens de sang-froid et agiles.

Une autre crainte que peut inspirer un chemin de fer enfoui dans des gorges, c'est qu'il ait affaire un jour à quelque irruption extravagante d'eaux et de décombres, comme en provoquent parfois des cataclysmes dans les montagnes. M. Sears a eu la chance, assurément peu commune, d'être engagé dans la construction d'une ligne qu'il a vu disparaître subitement sous la fureur d'éléments déchaînés. Aussi pense-t-il que quelques détails sur ce chemin éphémère, construit dans un

cagnon d'un caractère semblable à celui du Colorado, sont de nature à intéresser. Il s'agit du *Chimbote and Huaraz Railway*, dans la vallée du Rio Santa, Pérou, déjà mentionné plus haut.

La Santa est un torrent rugissant qui ne rend pas sa proie; ses tourbillons noient, ses rochers assomment. En vue de fixer les têtes d'un tunnel, il était nécessaire d'effectuer des visées à travers la rivière, depuis l'escarpement d'un précipice, les hommes étant descendus avec des cordes. M. Sears ne put s'empêcher de frissonner lorsque, trois ans après, il lui arriva d'examiner, depuis une lunette du tunnel achevé, les stations, encore marquées par des barres, où M. Nichols avait opéré.

Des exploits de ce genre, qui ne sont pas inconnus en Suisse et en d'autres pays accidentés, exigent l'œil impassible de clubistes alpins. Le tracé du *Petersborough and Shirley Railway*, à travers les montagnes Unconunnuc et Monodnoc de New-Hampshire, a nécessité des visées en poste périlleux; le «transitman» eut à se faire descendre à l'aide de cordeaux pour poser sur la roche nue l'instrument débarrassé de son trépied. De telles réquisitions ne sont pas rares même dans l'est des Etats-Unis. Une fois qu'on s'y est aguerri en cours de travaux, elles font une impression moins terrifiante que lors des études du tracé. Les explorations du général Frémont pour ligne ferrée à travers les Montagnes-Rocheuses furent tout aussi aventureuses.

Citons aussi ce fait de cluse formidable parcourue par un chemin de fer, la Barranca del Infierno, sur la ligne de Mexico à la Vera-Cruz.

Sur les effrayants rapides de la Santa, il ne pouvait être question d'implanter des échafaudages; c'était sur des planchers suspendus qu'il fallait monter des ponts ou établir des communications provisoires pour les travaux. Voici quelques indications relatives au confectionnement de ces passages. Sur cinq câbles de 25 mm., tendus parallèlement, venaient reposer des traverses de 13/10 cm. espacées de 0^m60, et sur lesquelles se clouaient des planches longitudinales formant un plancher de 1^m20 à 1^m50 de large. A chaque extrémité du pont et des deux côtés, un potelet en fer de 4 cm. de diamètre était implanté dans le roc; des câbles à 1^m20 au-dessus du plancher venaient passer dans les œils au sommet des poteaux, puis s'ancrer à environ 2^m50 en arrière. De ces câbles pendaient des tiges de 0^m02, dont le bout inférieur traversait les bois du plancher et s'y assujettissaient par des écrous. Il fallut consolider après coup ces tringles mieux qu'on n'avait cru devoir le faire de prime abord, et cela pour une raison d'un genre à part. Les *seranos* indiens, qui passaient sur ces ponts pour conduire du bétail de la montagne à un port d'embarquement, jugeaient à propos, à leur retour, de s'approprier quelques-unes de ces tiges, en ayant la ruse de n'en prendre qu'une sur deux pour que le larcin fût moins apparent.

Une fois un chemin pour mules ouvert le long de ces cagnons de la Santa, soit qu'il eût été installé sur des parties plates de la rive ou établi sur des consoles pendues aux rochers, soit qu'il eût été reporté sur les collines en arrière, les travaux de construction pouvaient être dès lors menés sans trop de peine. Dans les endroits à attaquer sur des parois à pic, inaccessibles par d'autres moyens, on érigeait, en guise de plate-

forme volante de service, une sorte de sentier funiculaire « presque confortable. » A cet effet, des hommes, suspendus par sellette et corde, forraient une suite de trous en ligne horizontale et y plantaient des crampons ou échelons de support. A ceux-ci s'attachait un premier câble servant de lisse; une seconde ligne horizontale, à 1^m52 de l'autre et destinée à faire marchepied, était attachée à la ligne supérieure par des cordes tendues diagonalement de l'une à l'autre. Les hommes marchaient sur la corde du bas en se tenant ferme à la corde supérieure.

Pour exécuter l'excavation de demi-tunnels, il pourra être avantageux de procéder à des abatages par grandes masses, après qu'un grand nombre de trous de mine auront été forés depuis des plateformes suspendues à des cordes sur le front de l'escarpement.

Arrivons au récit de la catastrophe. De même que M. Stanton mentionne dans le Colorado l'existence de parties de rives plates propres à recevoir les rails, de même le cas s'était rencontré dans la vallée de la Santa ; et néanmoins cette voie fut emportée en un instant, bien que son assiette caillouteuse semblât tout à fait sûre. C'était un sol de pieraille soudée par de l'argile durcie, résidu d'un lac préhistorique ; la vase desséchée et raccornie aux ardeurs du soleil tropical avait constitué, avec les cailloux qu'elle englobait, une sorte de béton au pic ou à la mine. Il existait sur ce sol des fossés d'irrigation, vestiges de la civilisation des Incas, et trouvés encore intacts par les aventureurs de Pizarre ; mais ces témoins séculaires devaient, eux aussi, disparaître en un jour, aussi bien que la voie. Le tort avait été de trop avancer celle-ci vers le bord des bermes, dans les parties inférieures de la ligne de Chimbote. Dans le Chimbote supérieur, on s'est prudemment efforcé de se tenir plus en arrière ou aussi près des rochers que possible, quitte à augmenter le nombre et la longueur des tunnels. La destruction de 1878 ne fut pas le résultat d'une simple inondation, car les pampas balayées étaient de 12 à 30 m. et plus au-dessus des hautes eaux de la Santa ; elle fut l'œuvre d'une vague de flot chargée de masses de terres et de rocs, se mouvant avec impétuosité et rasant les aspérités du conglomérat qu'on avait cru inattaquable. Il se produisit une série de ces vagues, dont une seule, dit M. Sears, a pu être contemplée dans sa formation par un être humain. Au-dessus du km. 132 est un ravin latéral, sec en toute saison, excepté lorsqu'une averse dans les montagnes jette ses déjections dans ce couloir. Il est à présumer que, dans la région supérieure, une pluie diluvienne avait imprégné la couche de terre recouvrant des escarpements rocheux, que cette couche meuble, une fois saturée, glissa comme une avalanche et encombra le ravin secondaire. Les eaux, un moment retenues par cet obstacle, le débordèrent puis chassèrent les amoncellements de matériaux. Sur son chemin, l'effondrement détachait de nouvelles terres ; avec une force redoublée, il se précipita en travers de la grande gorge de la Santa en la barrant à plus de 12 m. de hauteur. A ce puissant fleuve il ne fallut pas un long temps pour accomplir son œuvre terrifiante. Le barrage instable devait avoir une quarantaine de mètres de longueur à sa base, transversalement à la rivière, et dépasser peut-être 120 m. à son sommet. Le gardien posté à Soledad, ancien camp de l'ingénieur Nichols, avait perçu quelques mi-

nutes à l'avance l'effroyable et sinistre bruit, le fracas de la trombe approchante ; il s'estimait toutefois en sûreté, puisque le camp était certainement à 30 m. en contre-haut du cours d'eau. Mais sitôt qu'il vit surgir ce hideux et colossal agent de destruction, monstrueusement gonflé dans la gorge étroite, arrachant, bouleversant le sol, sa tête blanche comme neige, culbutant, écumant, bondissant et fusant au-dessus d'une moraine noire et vacillante de rocs, d'eaux, de terres précipitées, toute cette masse se débattant dans une fureur de tempête, déchirant les flancs de la montagne et taillant des baies dans l'écorce du globe, la terreur alors l'enleva comme un trait sur les collines.

Dans le cagnon du Rio Reventeson de Costa-Rica, qui n'est pas sans similitude avec celui du Colorado, M. Sears a recommandé d'établir le chemin sur des balcons de bois ou de fer ancrés en corbeille sur la face des falaises, bien au-dessus de tout danger possible.

Ayant été ingénieur-consultant au chemin de fer de l'Oregon dans la vallée de Villamette, il se déclara non rassuré à l'endroit de l'emplacement assigné, dans le projet de l'entreprise, pour des piles de ponts sur les Santiam nord et sud, deux fougueux torrents de montagne, et comme il manifestait ses appréhensions : « Oh non ! répondit l'auteur du projet, je ne crains jamais rien, j'ai plaisir à jeter des ponts sur les rivières. » A la collaudation de la ligne, M. Sears refusa de recevoir ces ouvrages avant qu'ils eussent subi les crues d'un hiver au moins. Contre son avis, les représentants de la Compagnie écossaise payèrent néanmoins les deux ponts, qui, au premier assaut, furent emportés. De nouveaux plans ayant été présentés par une compagnie de construction de Californie, M. Sears se vit encore dans l'obligation de désapprouver la position des piliers ; mais comme les entrepreneurs sont des « praticiens » et les ingénieurs seulement des « théoriciens », l'administration derechef passa outre à l'exécution sans s'arrêter aux critiques importunes de l'ingénieur, qui résigna ses fonctions, et derechef aussi, le troisième hiver après leur érection, les deux ponts du Santiam périrent.

Pendant qu'il était en veine de récits palpitants ou curieux, M. Sears raconte encore un émouvant sauvetage, effectué lors d'une reconnaissance dans la vallée de Chimbote. Un Américain noté pour son agilité avait été chargé de descendre sur le versant de la montagne pour choisir un point de station d'où l'on pût viser un pic déjà repéré. C'était une pente à environ 45°, sur laquelle une mince couche de terre recouvrait le rocher ; celui-ci, un peu plus bas, retombait en précipice de 200 m. sur la rivière. A peine l'homme est-il arrivé à mi-chemin, que la terre se met à glisser sous lui et à cascader dans le gouffre. Le malheureux, se jetant à plat ventre, dégaine son couteau et le plante résolument en terre, jusqu'à ce que la pointe trouve une crevasse qui lui permette de se retenir. Prompt comme l'éclair, un des auxiliaires de l'expédition, bûcheron de son métier, enfonce à force de bras une pince dans le sol et, l'empoignant de ses deux mains, s'étend pieds en bas sur le talus ; un autre homme descend à côté, se cramponne aux chevilles du premier et forme ainsi un second chaînon ; les autres suivent de même, complètent la corde vivante de secours jusqu'au camarade en détresse ; celui-ci, alors, non sans

avoir complété son observation technique, parvient à remonter l'escarpement, suivi par les membres successifs de la ligne. A la suite de cette aventure, une légère corde devint partie obligée de l'outillage de semblables expéditions.

LAUSANNE, octobre 1898.

LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION SUISSES

par A. GREMAUD

Ingénieur en chef des ponts et chaussées du canton de Fribourg.

Cette étude est empruntée au *Rapport technique sur l'exposition nationale, Genève 1896*, qui vient d'être publié par le Département fédéral de l'industrie.

M. Gremaud était le rapporteur du groupe 32, matériaux de construction. Par la nature même des choses, l'exposition du groupe 32 ne pouvait, à elle seule, donner qu'une idée forcément incomplète de l'état général de cette industrie dans notre pays. Le rapporteur y a supplié; il s'est livré à une enquête approfondie dont on appréciera la méthode et la sûreté d'informations.

En vue de sa reproduction dans le *Bulletin*, l'auteur a fait subir quelques remaniements au texte primitif.

(Note de la Rédaction.)

I

Aperçu du développement de cette industrie avant l'exposition de Zurich en 1883 et coup d'œil sur son développement depuis cette exposition.

L'industrie des matériaux de construction, comme d'ailleurs la plupart des autres industries, n'a pris de l'importance et de l'extension dans notre pays qu'au fur et à mesure de l'amélioration de nos voies de communication et du développement du réseau de nos voies ferrées¹ et cela non seulement directement, c'est-à-dire en facilitant le transport des matériaux lourds comme ceux de construction, mais encore indirectement en provoquant la création de nombreux établissements et installations industriels.

Si, en France, en Belgique et en Allemagne l'industrie des matériaux de construction s'est développée de bonne heure, il faut en attribuer la cause aux nombreux canaux et rivières navigables qui sillonnent ces pays et qui permettent d'effectuer les transports à bon marché.

D'autre part, l'établissement des chemins de fer, en favorisant la création de nouvelles industries, modifia considérablement le mode de construction. Aux constructions massives, en bois et en maçonnerie ordinaire à la chaux grasse, furent peu à peu substitués le fer, le ciment et les matériaux artificiels.

Mais l'emploi en grand de ces matériaux coûteux engagea les ingénieurs et les constructeurs à étudier la réduction des dimensions des ouvrages à des proportions aussi économiques que possible tout en restant dans les limites de sécurité voulue.

Cette étude les amena à examiner de plus près les propriétés physiques et chimiques des matériaux de construction et surtout leur résistance à la rupture et à l'écrasement, ainsi que leur degré d'altération sous l'influence des agents atmosphériques.

¹ Voir *Journal officiel de l'exposition nationale de Genève*, les articles intitulés : « Développement technique des chemins de fer suisses », par C. Barbe, et « L'extension de nos chemins de fer de montagne depuis 1883 », par E. Tissot.

Pendant longtemps on ne s'est que peu et même souvent pas du tout préoccupé de ces questions. Les ingénieurs et les constructeurs se servaient de coefficients et autres données tirés d'ouvrages traitant de produits étrangers à la Suisse et qui n'étaient ainsi nullement applicables à nos matériaux de construction. Sans doute, des ingénieurs et des constructeurs ont fait pour leur compte des essais, mais ces essais, exécutés au moyen de méthodes et d'appareils primitifs, ne devaient naturellement pas donner des résultats bien concluants. Parmi ces procédés, nous citerons les machines rudimentaires employées dans les tréfileries pour essayer les fils de fer à la rupture. Dans d'autres usines (fabrique de ciment, par exemple) on employait aussi des moyens plus ou moins primitifs pour s'assurer de la résistance des produits fabriqués. Il en était de même de l'exploitation des carrières et de la fabrication des matériaux artificiels tels que chaux, tuiles, tuyaux et briques. Les procédés et les méthodes basés sur la routine et ne s'appuyant sur aucune donnée scientifique, ne donnaient que des résultats insuffisants. La qualité de la matière première laissait souvent à désirer.

On se servait également de moyens indirects ou empiriques pour s'assurer de la résistance d'une construction. On confectionnait un modèle de l'objet à construire à une échelle déterminée et on le soumettait à une charge correspondante à l'échelle du modèle. A l'exposition du groupe 33, on voyait un modèle de ce genre représentant un ancien pont en bois construit à l'échelle de 1 : 25. Sur l'un des supports en bois servant de culée, on lisait l'inscription curieuse suivante : « Le pont-modèle porte « entre les deux culées trois cents livres, » 1896 » (année).

C'est encore la construction des chemins de fer et les industries modernes avec leurs nombreuses machines et installations qui provoquèrent à un autre point de vue une étude plus approfondie des propriétés physiques et chimiques des matériaux de construction, en ce sens que les matières premières soumises à des efforts continuels et répétés devaient amener souvent des déformations et des ruptures dans les pièces des machines et des appareils.

C'est à l'initiative de M. le Dr Schmidlin, ancien directeur du chemin de fer du Central, qu'on doit les premiers efforts faits en vue d'une étude plus approfondie des matériaux de construction. Il organisa en 1865 à Olten, avec le concours de géologues et de techniciens, une exposition permanente de modèles et d'échantillons de matières premières.

En 1866, une première machine d'essais, d'après le système Werder, fut installée à Olten et fonctionnait sous la direction de M. le Dr Culmann, professeur au Polytechnicum. Elle fonctionna jusqu'en 1871. Environ 437 essais furent faits pendant cette période sur du matériel de chemins de fer et de ponts métalliques et sur les pierres naturelles et artificielles qu'on avait envoyées des différentes contrées de la Suisse.

A l'occasion de l'exposition universelle de Paris, la première machine fédérale d'essais fut installée en 1877 dans un local de la ville de Zurich pour essayer les échantillons de pierre que la Société suisse des ingénieurs et architectes avait pris l'initiative d'exposer à Paris.

En 1879, la machine fédérale d'essais fut installée dans un